



UNIVERSIDADE DO VALE DO TAQUARI - UNIVATES
CURSO ENGENHARIA CIVIL

**AVALIAÇÃO E DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DE UM SISTEMA
DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM ZONA RURAL DO MUNICÍPIO
DE ESTRELA/RS**

Roberta Diehl

Lajeado, novembro de 2019

Roberta Diehl

**AVALIAÇÃO E DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DE UM SISTEMA
DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM ZONA RURAL DO MUNICÍPIO
DE ESTRELA/RS**

Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso – Etapa II, do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, da Universidade do Vale do Taquari - Univates, como parte da exigência para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Ms Marcelo Luís Kronbauer

Lajeado, novembro de 2019

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a mim, por todos os anos de dedicação, aprendizados e abdições.

Agradeço a minha família, em especial meus pais, Maria Angélica e Egidio, por ter compartilhado comigo todos os seus conhecimentos específicos sobre o assunto que foram essenciais para a conclusão deste trabalho. Pelo apoio e compreensão nos momentos difíceis e às minhas irmãs Franciele e Fernanda. Agradeço também ao meu namorado Gustavo, pelas palavras de apoio, incentivo e companheirismo, por sua disposição a ajudar e encarar todos os desafios comigo.

Agradeço meu orientador Marcelo Luís Kronbauer pela confiança depositada em mim, pelos conselhos, contribuições e ideias que enriqueceram meu trabalho.

Agradeço a amiga Adriana, por todos os auxílios e conhecimentos compartilhados.

Por fim, agradeço aos professores, universidade, amigos e colegas de curso, pelas amizades, confortos, oportunidades e ensinamentos. E demais pessoas que de alguma forma contribuíram para a conclusão de mais esta etapa.

RESUMO

A água é o bem natural utilizado para todas as necessidades básicas e ações ligadas ao desenvolvimento das populações, sendo essas comprometidas facilmente com a sua escassez, desde as mais antigas civilizações, perante a isso, surge os sistemas de abastecimento de água que possuem o intuito de distribuir a água dentro dos parâmetros de qualidade, com vazão e pressões adequadas. Sendo de extrema importância o desenvolvimento deste sistema e todos os seus elementos constituintes segundo as normas, para a garantia de sua eficiência, principalmente para comunidades rurais onde seus municípios não lhe garantem esse serviço básico conforme estipulado pela lei, obrigando-os a tomar iniciativas como a criação de associações para o controle dos seus sistemas. Este trabalho aprofundou conhecimentos sobre abastecimento de água, analisou e diagnosticou a eficácia de um sistema de abastecimento rural em Estrela, principalmente na sua qualidade de água, reservação e rede de distribuição, juntamente com a realização do dimensionamento de um novo sistema de abastecimento. Onde realizou-se pesquisas a campo e investigações para a obtenção de dados e caracterização técnica, utilizando-se do programa EPANET para a realização de simulações que possibilitaram a verificação, diagnóstico e planejamento de ações que garantiram a capacidade do sistema, para suprir as demandas dos pontos de consumo, com pressões e vazões adequadas. Para as análises de custo das alternativas propostas para a solução dos problemas, utilizou-se como base de preços a tabela SINAPI e fornecedores da região. Com os resultados alcançados, encontrou-se problemas na reservação de capacidade de armazenamento para atender a população, verificou-se que a rede de distribuição atual é formada por quatro redes independentes e determinou-se os valores de perda de carga, velocidades e pressões para cada uma delas. Propondo três alternativas para a otimização do sistema, sendo a primeira a substituição das tubulações conforme os diâmetros estabelecidos pela normativa, a segunda a interligação das redes de distribuição e na terceira a instalação de válvulas redutoras de pressão e bombas pressurizadoras, apresentando-se essa a correta, pois ser a melhor solução técnica e econômica.

Palavras-chave: Diagnóstico. Sistema de abastecimento. Dimensionamento. Distribuição. EPANET.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Elementos que constituem o sistema de abastecimento.....	24
Figura 2 – Fatores contaminadores dos mananciais.....	27
Figura 3 – Classificação da água conforme uso.....	28
Figura 4 – Manancial e sua forma de captação.....	30
Figura 5 – Exemplo de Adutoras.....	32
Figura 6 – Exemplo de Estação Elevatória.....	34
Figura 7 – Localização das estações elevatórias de água tratada e bruta.....	34
Figura 8 – Posição dos reservatórios.....	41
Figura 9 – Reservatório de jusante (sobras).....	41
Figura 10 - Rede de distribuição pela posição das canalizações.....	43
Figura 11 – Canalização PBA.....	45
Figura 12 – Canalização DeFoFo.....	45
Figura 13 – Etapas essenciais para a elaboração do PMSB.....	48
Figura 14 – Localização área de estudo.....	51
Figura 15 – Numeração nós e trechos Rede 1.....	53
Figura 16 – Numeração nós e trechos Rede 2.....	54
Figura 17 – Numeração nós e trechos Rede 3.....	55
Figura 18 – Numeração nós e trechos Rede 4.....	56
Figura 20 – Localização captação da Rede 4.....	76
Figura 21 – Casa de química da Rede 2.....	77
Figura 22 – Localização reservatórios.....	78
Figura 23 – Simulação de pressão obtidos pelo EPANET para a Rede 1.....	82
Figura 24 – Simulação de pressão obtidos pelo EPANET para a Rede 2.....	87
Figura 25 – Simulação de pressão obtidos pelo EPANET para a Rede 3.....	90
Figura 26 – Simulação de pressão obtidos pelo EPANET para a Rede 4.....	92

Figura 27 – Exemplo de válvula redutora de pressão	106
Figura 28 – Bomba de pressurização modelo BPR-9 1/6CV.....	108
Figura 29 – Bomba de pressurização modelo BC-21 R 1 ¼ 1,5CV	109
Figura 30 – Bomba de pressurização modelo SP-12 C	110
Figura 31 – Bomba de pressurização modelo BC-98 1/3CV	114
Figura 32 – Bomba de pressurização modelo TAP-20 A CPW 1/2CV	116
Figura 33– Bomba de pressurização modelo SP-15 C BCR-2010 3/4CV	116

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Valores de pressão obtidos para os nós utilizando o EPANET na Rede 1 para a primeira alternativa.....	96
Gráfico 2 – Valores de pressão obtidos para os nós utilizando o EPANET na Rede 2 para a primeira alternativa – parte 01	99
Gráfico 3 – Valores de pressão obtidos para os nós utilizando o EPANET na Rede 2 para a primeira alternativa – parte 02.....	99
Gráfico 4 - Valores de pressão obtidos para os nós utilizando o EPANET na Rede 3 para a primeira alternativa.....	102
Gráfico 5 – Valores de pressão obtidos para os nós utilizando o EPANET na Rede 4 para a primeira alternativa.....	104
Gráfico 6 – Valores de pressão obtidos para os nós utilizando o EPANET na Rede 1 para a terceira alternativa.....	108
Gráfico 7 – Valores de pressão obtidos para os nós utilizando o EPANET na Rede 2 para a terceira alternativa – parte 01	112
Gráfico 8 –Valores de pressão obtidos para os nós utilizando o EPANET na Rede 2 para a terceira alternativa – parte 02.....	112
Gráfico 9 – Valores de pressão obtidos para os nós utilizando o EPANET na Rede 3 para a terceira alternativa.....	115
Gráfico 10 – Valores de pressão obtidos para os nós utilizando o EPANET na Rede 4 para a terceira alternativa.....	117

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Formas de captação.....	29
Quadro 2 – Tratamento conforme classificação do uso da água	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação das águas de abastecimento humano.....	38
Tabela 2 – Valores máximo permitido para os parâmetros	52
Tabela 3 – Determinação diâmetros	58
Tabela 4 – Valores encontrados de Cloro Residual Livre no poço número 1	64
Tabela 5 – Valores encontrados de Cloro Residual Livre no poço número 2.....	64
Tabela 6 – Valores encontrados de Cloro Residual Livre no poço número 3.....	65
Tabela 7 – Valores encontrados de Cloro Residual Livre no poço número 4.....	65
Tabela 8 – Valores encontrados de Dureza para o poço número 1	67
Tabela 9 – Valores encontrados de Dureza para o poço número 2	67
Tabela 10 – Valores encontrados de Dureza para o poço número 3	67
Tabela 11 – Valores encontrados de Dureza para o poço número 4	67
Tabela 12 – Valores encontrados de Fluoreto para o poço número 1.....	68
Tabela 13 – Valores encontrados de Fluoreto para o poço número 2.....	69
Tabela 14 – Valores encontrados de Fluoreto para o poço número 3.....	69
Tabela 15 – Valores encontrados de Fluoreto para o poço número 4.....	69
Tabela 16 – Valores encontrados de Cloretos para o poço número 1	70
Tabela 17 – Valores encontrados de Cloretos para o poço número 2	70
Tabela 18 – Valores encontrados de Cloretos para o poço número 3	70
Tabela 19 – Valores encontrados de Cloretos para o poço número 4	71
Tabela 20 – Dados reservação atual.....	78
Tabela 21 – Determinação de k1	79
Tabela 22 – Determinação de diâmetros e extensões das redes de distribuição.....	80
Tabela 23 – Síntese das informações básicas para o dimensionamento.....	80
Tabela 24 – Valores obtidos para os nós utilizando o EPANET na Rede 1	81

Tabela 25 – Valores obtidos para os trechos utilizando o EPANET na Rede 1	83
Tabela 26 – Valores obtidos para os nós utilizando o EPANET na Rede 2	84
Tabela 27 – Valores obtidos nos trechos utilizando o EPANET na Rede 2	88
Tabela 28 – Valores obtidos nos trechos utilizando o EPANET na Rede 3	89
Tabela 29 – Valores obtidos nos trechos utilizando o EPANET na Rede 3	91
Tabela 30 – Valores obtidos nos nós utilizando o EPANET na Rede 4	92
Tabela 31 – Valores obtidos nos trechos utilizando o EPANET na Rede 4	93
Tabela 32 – Novos diâmetros e suas extensões.....	94
Tabela 33 – Valores obtidos nos nós utilizando o EPANET na Rede 1 para a primeira alternativa.....	94
Tabela 34 – Valores obtidos nos trechos utilizando o EPANET na Rede 1 para a primeira alternativa.....	96
Tabela 35 – Valores obtidos nos nós utilizando o EPANET na Rede 2 para a primeira alternativa.....	97
Tabela 36 – Valores obtidos nos trechos utilizando o EPANET na Rede 2 para a primeira alternativa.....	100
Tabela 37 – Valores obtidos nos nós utilizando o EPANET na Rede 3 para a primeira alternativa.....	101
Tabela 38 – Valores obtidos nos trechos utilizando o EPANET na Rede 3 para a primeira alternativa.....	102
Tabela 39 – Valores obtidos nos nós utilizando o EPANET na Rede 4 para a primeira alternativa.....	103
Tabela 40 – Valores obtidos nos trechos utilizando o EPANET na Rede 4 para a primeira alternativa.....	104
Tabela 41 – Valores obtidos nos nós utilizando o EPANET na Rede 1 para a terceira alternativa.....	106
Tabela 42 – Valores obtidos nos nós utilizando o EPANET na Rede 2 para a terceira alternativa.....	110
Tabela 43 – Características hidráulicas para o sistema motor e bomba do modelo BC-21 R 1 ¼ 1,5CV.....	113
Tabela 44 – Características hidráulicas para o sistema motor e bomba do modelo SP-12 C.....	113
Tabela 45 – Valores obtidos nos nós utilizando o EPANET na Rede 3 para a terceira alternativa.....	114
Tabela 46 – Características hidráulicas para o sistema motor e bomba do modelo BC-98 1/3CV	115
Tabela 47 – Valores obtidos nos nós utilizando o EPANET na Rede 4 para a terceira alternativa.....	117
Tabela 48 – Dados hidráulicos para o sistema motor e bomba do modelo TAP-20 A CPW 1/2CV	117

Tabela 49 – Dados hidráulicos para o sistema motor e bomba do modelo SP-15 C BCR-2010 3/4CV.....	118
Tabela 50 – Custo para substituição tubulação de 50 mm.....	119
Tabela 51 – Custo para substituição tubulação de 75 mm.....	119
Tabela 52 – Custo para substituição tubulação de 100 mm.....	120
Tabela 53 – Custo total da terceira alternativa	121
Tabela 54 – Comparativo de custo das alternativas.....	121

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CF	Coliformes Fecais
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
EAB	Elevatória de Água Bruta
EAT	Elevatória de Água Tratada
ETA	Estação de Tratamento de Água
GPS	Sistema de Posicionamento Global
Mca	Unidade de pressão, metro de coluna d'água
Mm	Unidade de medida, milímetros
m/s	Unidade de tempo, metro por segundo
NBR	Norma Brasileira
PAC	Programa de Aceleração do Crescimento
PBA	Ponta e Bolsa com junta elástica com Anel de borracha
pH	Potencial Hidrogeniônico
Plansab	Plano Nacional de Saneamento Básico
PVC	Policloreto de Vinila
RS	Rio Grande do Sul
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custo e Índices da Construção Civil
Tu	Turbidez

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Objetivos	16
1.1.1 Geral	16
1.1.2 Específicos	17
1.3 Justificativa.....	17
1.4 Delimitações da pesquisa.....	18
1.5 Estrutura do trabalho	18
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	20
2.1 Aspectos Históricos do abastecimento de água.....	20
2.2 Importância de sistemas de abastecimento de água na sociedade	23
2.2.1 Concepção de sistema de abastecimento de água	25
2.3 Manancial.....	26
2.4 Captação	28
2.5 Adução	31
2.6 Recalque / Estação Elevatória.....	33
2.7 Estação de Tratamento	35
2.8 Reservação	40
2.10 Rede de Distribuição.....	42
2.10 Legislação.....	46
3 METODOLOGIA	51
3.1 Determinação das vazões de distribuição	57
3.2 Determinação dos diâmetros das tubulações	58
3.3 Determinação das velocidades nas tubulações	58

3.4 Determinação das perdas de carga	59
3.5 Determinação das cotas do terreno e cotas piezométricas	60
3.6 Pressões Disponíveis	60
3.7 Determinação da reservação.....	60
3.8 Utilização do EPANET	61
3.9 Análise de Custo	62
 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	 63
4.1 Diagnóstico qualitativo da água utilizada no abastecimento.....	63
4.1.1 Diagnóstico das concentrações de Cloro Residual Livre na rede de abastecimento	63
4.1.2 Diagnóstico da concentração de Dureza na água de abastecimento.....	66
4.1.3 Diagnóstico da concentração de Fluoreto na água de abastecimento	68
4.1.4 Diagnóstico da concentração de Cloreto na água de abastecimento	70
4.1.5 Diagnóstico da Cor Aparente da água de abastecimento	71
4.1.6 Diagnóstico do pH da água de abastecimento	72
4.1.7 Diagnóstico da concentração de Turbidez na água de abastecimento.....	73
4.1.8 Diagnóstico da concentração de Ferro na água de abastecimento	74
4.1.9 Diagnóstico da presença de coliformes na água de abastecimento	74
4.1.10 Avaliação do uso de mananciais subterrâneos no sistema de abastecimento de água.....	75
4.2 Diagnóstico da captação e tratamento do sistema atual.....	75
4.3 Diagnóstico e análise da capacidade de reservação do sistema atual	77
4.4 Diagnóstico da rede de abastecimento do sistema atual	79
4.5 Dimensionamento de alternativas para solução dos problemas na rede de abastecimento	94
4.5.1 Primeira Alternativa para adequação da rede – Substituição tubulação ..	94
4.5.2 Segunda Alternativa para adequação da rede - Interligação.....	105
4.5.3 Terceira Alternativa para adequação da rede – Válvulas redutoras de pressão e bombas.....	105
4.6 Análise dos custos das alternativas propostas	118
4.6.1 Análise de custo da Primeira Alternativa para adequação da rede – Substituição tubulação.....	118
4.6.2 Análise de custo da Terceira Alternativa para adequação da rede – Válvulas redutoras de pressão e bombas	120
4.6.3 Resumo das Análise de custo das alternativas propostas	121
 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	 123

REFERÊNCIAS.....	126
ANEXO A – LOCALIZAÇÃO REDES DE DISTRIBUIÇÃO	134
ANEXO B – TABELA DE DIMENSIONAMENTO	135
ANEXO C – RESULTADO DIMENSIONAMENTO REDES DE DISTRIBUIÇÃO ...	136

1 INTRODUÇÃO

A água consiste em um recurso natural mais presente na existência humana, seja para suprir necessidades básicas ou para outras ações relativas ao seu desenvolvimento, que são facilmente comprometidas pela sua escassez. Obrigando assim, a concepção de procedimentos e providências para aprimorar sua relação com a sociedade.

Essas providências envolvem a elaboração de obras e a implantação de normas e regras para seu uso, em vista de impedir conflitos, pois, sendo um recurso natural, é importante sua preservação, uso e aproveitamento adequado, para garantia de sua recuperação e sustentabilidade ambiental (SILVA, 2015).

Então, para se obter uma água de qualidade, são essenciais os processos de tratamento e distribuição, por meio de sistema de abastecimento e tratamento de água, que atenda as exigências de qualidade e quantidade de água, bem como os quesitos de saúde e crescimento industrial. Para isto, é importante o dimensionamento adequado dos elementos constituintes desse sistema, a determinação das vazões, relacionada a quantidade de pessoas a serem abastecidas e a quantidade de água consumida por cada uma delas (MICHELAN, 2016).

Diante das mais variadas finalidades da água e o aumento de sua demanda, o abastecimento tornou-se mais complicado, abrangendo juntamente com as dificuldades técnicas, as questões políticas, administrativas, sociais e econômicas. Onde as responsabilidades do controle e distribuição compete aos governos e comunidades, e os conhecimentos técnicos do Engenheiro Civil, que possui a atribuição profissional de projetar e executar sistemas de captação, distribuição e

tratamento de água, de modo a gerar o aproveitamento racional desse recurso (SILVESTRE, 1979), levando em consideração as características da região e as necessidades das sociedades.

Os sistemas de abastecimento de água, caracterizam-se como conjunto de infraestruturas, cujo projeto, execução, operação e materiais utilizados, possuem normas técnicas que conduzem para sua apropriada execução e aplicação (PERREIRA, 2016). Sendo de extrema importância, detectar as irregularidades presentes no desempenho de cada um dos seus elementos constituintes (GUDINA; SILVA, 2017).

Assim, a elaboração de um projeto de sistema de abastecimento em comunidades rurais, torna-se uma tarefa complicada, perante as características de consumo diversificadas, como o consumo próprio, irrigação de plantações, lavagem de veículos e dessedentação de animais, que terão influência nas propriedades do sistema a ser empregado, devido a quantidade de água a ser utilizada.

Perante ao aumento da demanda de água das populações rurais, que acarretam problemas de atendimento dos sistemas de abastecimento, é importante aprimorar a gestão eficiente, racional e otimizada deste sistema. Diante disso, este trabalho pretende avaliar, diagnosticar e dimensionar os elementos constituintes de um sistema de abastecimento de uma comunidade rural, com pequenas necessidades operacionais, localizada no município de Estrela/RS, devido aos problemas de vazões e pressões ocorrentes na rede de distribuição. Buscando qualificar a condição do sistema atual e propor alternativas e ações para a melhoria de sua eficiência.

1.1 Objetivos

1.1.1 Geral

Realizar o diagnóstico e dimensionar as soluções necessárias para otimizar a operação de um sistema de abastecimento de água em uma localidade rural no município de Estrela.

1.1.2 Específicos

Os objetivos específicos são etapas a serem executadas e analisadas, com a finalidade de assegurar o alcance do objetivo geral deste trabalho, então, especificam-se em:

- a) Realizar o diagnóstico qualitativo da água utilizada no abastecimento;
- b) Analisar a capacidade de reservação do sistema atual;
- c) Realizar o diagnóstico da rede de abastecimento;
- d) Dimensionar um novo sistema de abastecimento de água;
- e) Analisar os custos da solução proposta.

1.3 Justificativa

Perante a relevância para nossa saúde e desenvolvimento, juntamente com a diminuição das disponibilidades de fontes de água potável, que não demandem de elevados tratamentos, surge como forma eficaz, principalmente para comunidades rurais, com poucos recursos e deficiências na área das políticas públicas, a instalação de sistemas de abastecimento de água. Estes sistemas têm a finalidade de captar a água de mananciais e, no caso de comunidades rurais, a fonte mais utilizada são os poços artesianos. A água captada deste manancial subterrâneo é tratada em uma casa de química, utilizando-se bomba dosadora para a injeção do Hipoclorito de Sódio para a desinfecção. Após o tratamento, a água é distribuída para todos os pontos da rede conforme demanda dos pontos de consumo.

Esse sistema apresenta diversos requisitos para seu correto dimensionamento e funcionamento, que se não forem seguidos geram elevadas perturbações, dado o fato do papel essencial da água e que com sua ausência não é possível realizar as tarefas mais básicas do cotidiano.

Diante disso, a ideia de realizar o estudo de caso de todo um sistema de abastecimento rural, localizado na Linha Novo Paraíso no município de Estrela/RS, objetivando a análise e diagnóstico da qualidade de água, quantia de reservação e

distribuição, devido as características de consumo muito variadas, como utilização da água para consumo próprio e criação de animais, sua elevada demanda de reservação, problemas de vazão e pressão ocorrentes na rede de distribuição e pelos riscos gerados aos consumidores se a água captada através do poço artesiano ser distribuída sem tratamento.

1.4 Delimitações da pesquisa

A pesquisa deste trabalho limitou-se na investigação do funcionamento de um sistema de abastecimento de água, formado por reservatório, estação de tratamento de água e rede de distribuição no município de Estrela/RS, com o intuito de analisar e diagnosticar as unidades existentes desse sistema.

1.5 Estrutura do trabalho

Este trabalho é composto por 5 capítulos: introdução, revisão bibliográfica, metodologia, resultados e conclusão. Por fim, ainda são expostas as referências bibliográficas utilizadas para a elaboração da pesquisa.

- a) Capítulo 1 – Introdução: apresenta-se as considerações iniciais que esclarecem sobre o tema que será concebido através de pesquisas, juntamente com os objetivos e justificativa;
- b) Capítulo 2 – Revisão bibliográfica: apresenta-se as informações teóricas fundamentais para o entendimento do tema, esclarecendo sobre a importância do abastecimento de água e seus componentes;
- c) Capítulo 3 – Metodologia: descreve-se os métodos utilizados para a obtenção dos dados referentes a qualidade de água, reservação e distribuição, permitindo assim analisar e diagnosticar sua eficácia conforme as normas estabelecidas;
- d) Capítulo 4 – Resultados: contém os resultados do estudo, o diagnóstico qualitativo da água utilizada no abastecimento, análise da capacidade de

reservação, diagnóstico da rede de distribuição atual, dimensionamento do novo sistema e análises dos custos dessa solução proposta;

- e) Capítulo 5 – Conclusão: apresenta-se a finalização do trabalho baseado nas pesquisas bibliográficas e nos resultados.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Aspectos Históricos do abastecimento de água

O abastecimento de água está inserido no conceito amplo de saneamento básico, que abrange o “conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais” para assegurar a população níveis crescentes de salubridade, juntamente com o esgotamento sanitário, limpeza urbana, manejo de resíduos sólidos, drenagem e manejo das águas pluviais urbanas (BRASIL, 2007).

“O saneamento, sendo no seu aspecto físico uma luta do homem com o ambiente, existe desde o início da humanidade, ora desenvolvendo-se, ora retrocedendo, de acordo com a evolução das diversas civilizações” (ROSEN, 2006).

Desde os antigos povos, há registros da preocupação com a obtenção, transporte, armazenamento, quantidade e qualidade de água. Essa preocupação do homem aumentou com o crescimento das populações e adensamento das cidades, pois, esse bem fundamental e limitado necessitava de controle para preservar a saúde e as atividades de sustento (FABBRO, 1984).

Conforme Heller e Pádua (2010), a utilização da água estabeleceu o posicionamento das comunidades, quando houve a troca da forma de vida nômade para sedentária, onde adotou-se a agricultura como meio de sobrevivência. E a evolução historicamente do abastecimento de água ocorreu pela seguinte ordem de preocupações:

- com o fornecimento de água para a agricultura e a pecuária, juntamente ao abastecimento para consumo humano;

- com o deslocamento da água em canalizações;
- com a captação de água subterrânea;
- com os armazenamentos da água;
- com os tratamentos da água;
- com o acúmulo de água em represas;
- com as elevações de água;
- com o entendimento de hidráulica;
- com a administração de serviços de abastecimento de água.

As primeiras obras de abastecimento foram realizadas na Mesopotâmia e no Egito, objetivando o atendimento da população e a suas culturas agrícolas, encontrando-se ainda existentes as ruínas dos canais de irrigação. Na cidade de Knossos, especificamente na ilha de Creta, em meados de 1700 - 1450 A.C. foi desenvolvido um sistema de abastecimento de água utilizando condutos circulares e distribuição da água em tubulações pressurizadas, sendo a primeira civilização a utilizar tubos. Na região da Ásia Menor, no presente parte da Turquia, por volta de 2000 - 200 A.C. foram construídos sistemas com tubulações, canais, túneis, sifões invertidos, aquedutos, reservatórios, cisternas e barragens. Destaca-se a cidade de Ephesus, que em 4 a 14 D.C. possuía um sistema constituído por uma barragem, uma adutora de 6 quilômetros e distribuição de água por tubos (TSUTIYA, 2006).

Ainda segundo o autor, os romanos em 100 D.C. construíram aquedutos acima dos terrenos com seu escoamento livre em canais e condutos enterrados de tubos de chumbo e/ou cerâmicos que transportavam a água para reservatórios (castelos) e posterior fontes e casas de banho. Com a queda dos romanos, a situação do saneamento e abastecimento de água retrocederam.

Em 1237, na cidade de Londres, foi concebido o primeiro sistema de abastecimento de água com canalização de chumbo. Na Alemanha, em 1455 no Castelo de Dillenburgh, foi utilizada a primeira tubulação de ferro fundido. Nos Estados Unidos, em Boston, no ano de 1652 e na França, no Palácio de Versailles em 1664,

foram construídas adutoras de ferro fundido, sendo a da França, com mais de 22 quilômetros de extensão (NETTO, 1984).

No ano de 1754, nos Estados Unidos, Pennsylvania, empregava-se elevatórias de água movida a cavalos e posterior a vapor. Seguidamente, alguns fatos marcantes do avanço do abastecimento, ocorreram em 1880 com a inserção de medidores distritais em Londres, na elaboração do primeiro estudo sobre perdas de água em 1881 na Escócia, com um índice de 77% e apenas em 1950 realiza-se o levantamento de perdas em Manaus, no Brasil, com um índice de 70%. (TSUTIYA, 2006).

No Brasil, o Rio de Janeiro, em 1561 era a primeira cidade a possuir sistema de abastecimento de água com poço escavado (BRITTO; QUINTSLR, 2007), no ano de 1673 construiu-se os primeiros aquedutos, conduzindo as águas do Rio Carioca até o chafariz público. Em 1570 houve a construção de 13 quilômetros de aquedutos, sendo que em 1810 haviam mais de 20 chafarizes públicos. O abastecimento de 8 milhões de litros de água por dia ocorreu em 1860 (NETTO, 1984) e somente em 1876 foi construído o sistema de abastecimento de água encanada (ANA, 2007).

Em São Paulo, o primeiro chafariz público foi concebido em 1774 e adutoras para abastecer os conventos de Santa Teresa e da Luz em 1746. Já em 1842 elaborou-se o primeiro projeto de adução e distribuição de água e no ano de 1907 inaugura-se o reservatório do Araçá, que se utilizou das canalizações do reservatório Cantareira. A partir de 1861, ocorreu a implantação de sistemas em outras cidades, como Porto Alegre (RS), Santos (SP) em 1870, Campos (RJ) em 1880, Campinas (SP) em 1891, Bofete (SP) em 1892 com a primeira perfuração de poço profundo e Belo Horizonte (MG) em 1897 que possuía também sistema de esgoto sanitário (TSUTIYA, 2006).

Conforme Arretche (1999), em meados de 1970 e 1980, ocorreu a implantação do Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANASA) que progrediu os serviços de saneamento básico e abastecimento de água, aumentando o atendimento à população urbana no país. Porém, segundo Oliveira (2014) houveram alguns problemas, como a ausência de financiamento, que acarretaram na extinção deste, sendo somente em 1990 criados outros planos de saneamento e no ano de 2000 promulgada a Lei do Saneamento (Lei 11.447/2007) e introduzido o Programa de

Aceleração do Crescimento (PAC), um dos maiores programas pro desenvolvimento do saneamento do país, pois incentivava os investimentos em obras de infraestruturas.

2.2 Importância de sistemas de abastecimento de água na sociedade

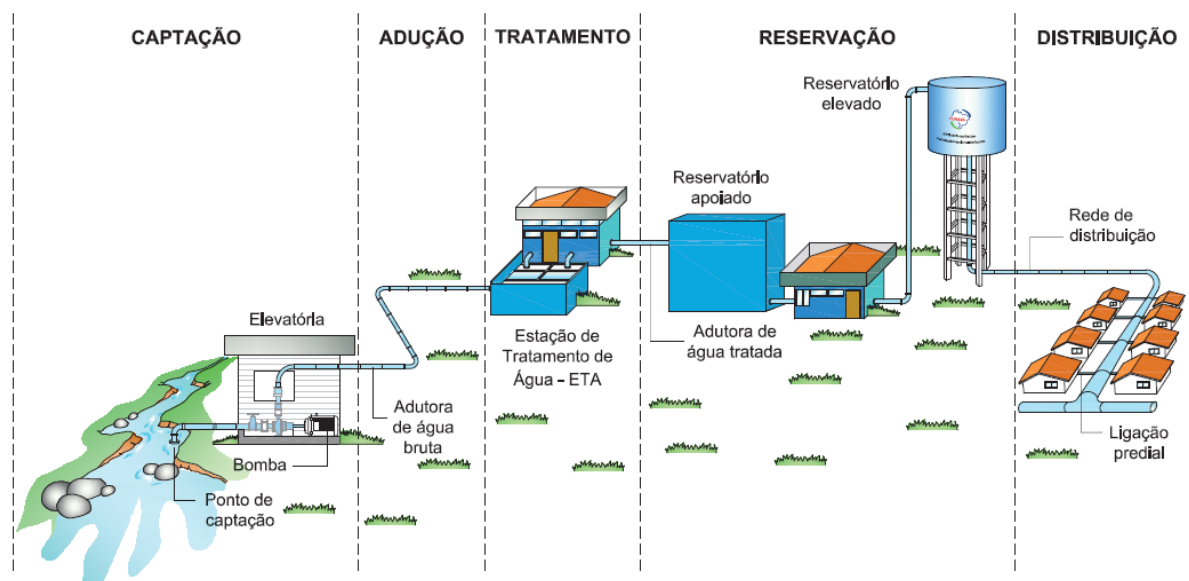
O sistema de abastecimento de água para consumo humano “consiste em um conjunto de infraestruturas, obras civis, materiais e equipamentos, [...] destinado à produção e ao fornecimento coletivo de água potável” (BRASIL, p. 66, 2015), sendo projetado para satisfazer desde pequenas a grandes populações, modificando-se as propriedades e porte das suas instalações para atender as demandas (PRADO, 2014).

O abastecimento compreende um conjunto de operações essenciais para distribuição de água aos locais de consumo, com qualidade e quantidade suficientes (GOMES, 2009).

Dentro do contexto do abastecimento de água estão também as soluções alternativas para o abastecimento coletivo que incluem fontes, poços comunitários e distribuição por carros-pipa (HELLER; PÁDUA, 2010).

Segundo Garcez (1976) o sistema de abastecimento é constituído pelos elementos de captação, adução, recalque, tratamento, reservação e distribuição, como ilustra a Figura 1. Contudo, alguns destes não se fazem presente obrigatoriamente quando, por exemplo, a qualidade de água do manancial esteja dentro dos padrões de potabilidade, não necessitando a construção da estação de tratamento e de recalque, quando a topografia do terreno for favorável. Para a NBR 12216 (ABNT, 1992) as águas de abastecimento públicos exigem tratamentos mínimos necessários para a garantia de sua potabilidade conforme sua classificação.

Figura 1 – Elementos que constituem o sistema de abastecimento



Fonte: Brasil (2015, p. 67).

Conforme Shammass e Wang (2013), esses elementos constituintes podem ser caracterizados em estruturas de coleta, tratamento, transporte e distribuição. Já de acordo com Heller e Pádua (2010), são classificados em:

- Unidades de produção: composta pela captação, adutora de água bruta, estação de tratamento e adutora de água tratada.
- Unidades de distribuição: composta pelos reservatórios e a rede de distribuição.
- Unidade de transporte: composta pela estação elevatória (recalque) e a adutora.

O sistema de abastecimento apresenta como vantagens a preservação do manancial, facilidade nas manutenções e supervisões dos elementos constituintes, e capacidade elevada de motoramento da qualidade de água (ESTRELA, 2012). Sendo que basicamente o sistema de abastecimento de água consiste em:

Após ser captada, a água é transportada através de adutoras de água bruta, ou seja, através de canalizações que transportam a água sem tratamento para a Estação de Tratamento de Água (ETA), onde são realizados procedimentos para que a água bruta captada dos mananciais esteja, após o tratamento, em conformidade com o padrão de qualidade para o consumo humano. Após a água ser tratada, é transportada pelas adutoras de água tratada, chegando assim aos reservatórios, que são unidades que armazenam a água, para, em seguida, ir para a fase de distribuição, onde

será entregue para os pontos de consumos, como: residências, indústrias, prédios etc (COSTA apud LIMA, 2015).

A Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997, define que a água é de domínio público e por ser um recurso natural limitado, possui valor econômico. Por essa razão, a importância da elaboração de sistemas que a distribua de forma apropriada atendendo parâmetros de qualidade (GABRIEL, 2018), pois seu funcionamento afeta os aspectos sanitário, social e econômico (RIBEIRO; ROOKE, 2010). No aspecto econômico, ao prosperar a vida média e produtiva do indivíduo, reduzindo a mortalidade, coma diminuição de gastos com consultas ou internações em hospitais, bem como incentivando a instalação de indústrias que empregam a água como matéria prima ou como meio de operação. E no social e sanitário, melhorando a implantação de hábitos higiênicos, facilitando a instauração da limpeza pública e esgotos sanitários, propiciando segurança e conforto, com aparelhamentos para combate a incêndios (BRASIL, 2015) e condicionamento de ar (GARCEZ, 1976).

2.2.1 Concepção de sistema de abastecimento de água

Conforme a norma NBR 12211 (ABNT, 1992) que trata do estudo da concepção de um sistema de abastecimento, a concepção desse sistema é um conjunto de análises qualitativas e quantitativas, sobre as diretrizes, parâmetros e definições essenciais para a realização de um projeto de rede completo, visando as melhores soluções técnicas, econômicas e sociais.

No desenvolvimento desse projeto é fundamental avaliar as necessidades presentes e as futuras, pois as obras são projetadas para um alcance do plano entre 10 a 30 anos (NETTO et al., 1998). E a solução correta para resolver o problema do abastecimento “não é necessariamente a mais econômica, a mais segura ou a mais moderna, mas sim aquela mais apropriada à realidade social em que será aplicada” (HELLER; PÁDUA, 2010).

O prazo do alcance dos projetos possui fatores determinantes, como a vida útil dos equipamentos e obras civis, disponibilidade econômica e desempenho das instalações trabalhando com folga nos primeiros anos, que o ampliam. E a taxa de

crescimento da população, facilidade na ampliação, dificuldade com financiamentos, empréstimos e juros, diminuem o seu alcance (GARCEZ, 1976).

Para o estudo da concepção deve-se abordar os seguintes aspectos:

a) os problemas relacionados com a configuração topográfica e características geológicas da região de localização dos elementos constituintes do sistema; b) os consumidores a serem atendidos até o alcance do plano e sua distribuição na área a ser abastecida pelo sistema; c) a quantidade de água exigida por diferentes classes de consumidores e as vazões de dimensionamento; d) no caso de existir sistema de distribuição, a integração das partes deste ao novo sistema; e) a pesquisa e a definição dos mananciais abastecedores; f) a demonstração de que o sistema proposto apresenta total compatibilidade entre suas partes; g) o método de operação do sistema; h) a definição das etapas de implantação do sistema; i) a comparação técnico-econômica das concepções; j) o estudo de viabilidade econômico-financeira da concepção básica (ABNT NBR 12211, 1992, p. 2).

E para uma boa concepção de um sistema, precisa-se de uma equipe especializada em diversas áreas, como topografia, demografia, economia, hidrogeologia, hidrologia, especialistas em saúde pública, comunicação e recursos humanos, para levantamento das condições topográficas, estudos da estimativa da população, verificação da alternativa mais econômica, estudo dos mananciais e suas qualidades, juntamente com o das vazões e para incentivar a participação da comunidade nas decisões (OKUN; ERNST, 1987).

2.3 Manancial

Manancial é um corpo de água, podendo ser superficial ou subterrâneo, que fornece a água para a captação do abastecimento, sendo responsável por proporcionar vazão adequada para atender a demanda do projeto (TSUTIYA, 2006).

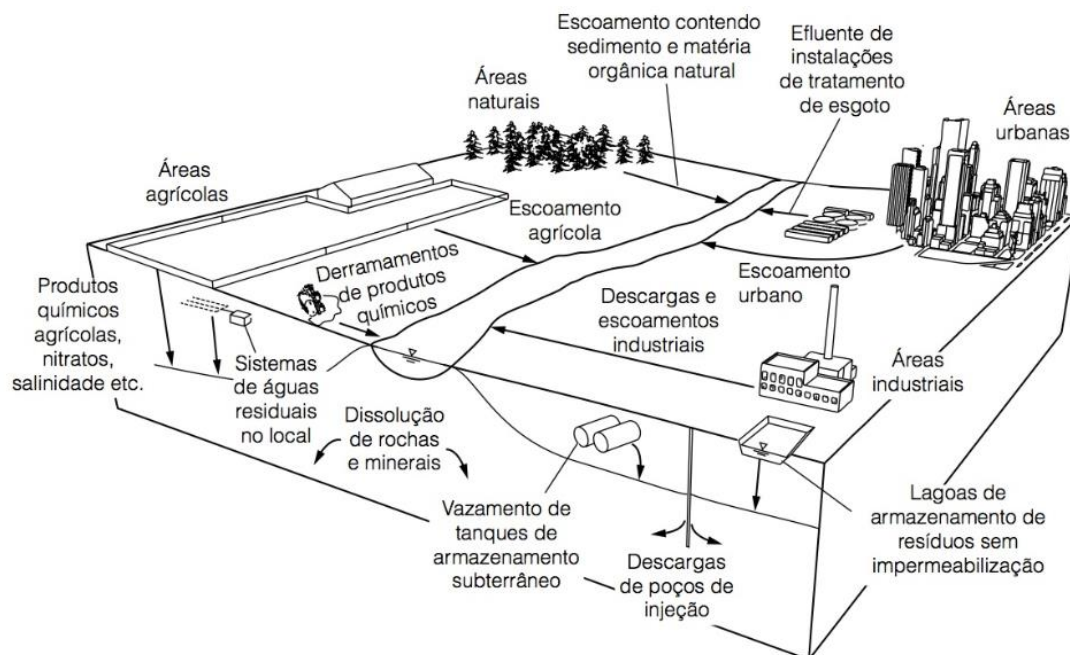
Os mananciais superficiais constituem um volume de 104 mil km³ de água da Terra, enquanto os subterrâneos 10,3 milhões km³ (FEITOSA et al, 2008). Onde superficiais são os cursos d'água, represas e lagos, e subterrâneos, os aquíferos artesianos (confinados) e freáticos (não confinados) (LIBÂNIO, 2010).

No projeto do sistema de abastecimento, a seleção do manancial é a decisão mais importante, onde deve-se utilizar critérios de definição como a vazão da demanda, características da água, custos e possível ampliação (LIBÂNIO, 2010),

juntamente com a capacidade, confiabilidade, distância da comunidade, possibilidade de servir a comunidade por gravidade ou requer bombeamento e a vulnerabilidade a riscos naturais. Para a seleção final entre as fontes que são adequadas em quantidade satisfatória, utiliza-se o custo e a disponibilidade de recursos para investimentos (OKUN; ERNST, 1987).

O avanço desordenado do ambiente urbano, gera a poluição das bacias hidrográficas dos mananciais, devido à falta de coleta e tratamento dos esgotos, como exemplifica a Figura 2, acarretando em um grande consumo de agentes químicos para o tratamento das águas, o que afeta na sua qualidade e em alguns casos torna-se praticamente impraticável o seu tratamento (TSUTIYA, 2006). No Brasil, a deterioração da qualidade dos mananciais subterrâneos dá-se também pelos fatores de ausência de saneamento básico, técnicas inadequadas de irrigação, de captação, de construção de poços e derramamento de tanques de combustíveis (FEITOSA et al., 2008).

Figura 2 – Fatores contaminadores dos mananciais














Fonte: Howe et al. (2016, p. 9).

Os fatores patológicos e químicos são de elevada preocupação, pois estão crescentemente presentes devido a poluição e efluentes químicos de indústrias, podendo acarretar em inúmeros riscos à saúde pública e ao meio ambiente (BARSANO, et al., 2014).

Para Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, as águas dos mananciais precisam satisfazer os parâmetros de qualidade, quanto as características físicas, químicas e biológicas. As águas são classificadas em classes de qualidade segundo os usos preferenciais, como ilustra a Figura 3. Esse enquadramento conforme os usos, “visa assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas; diminuir os custos de combate à poluição das águas, mediante ações preventivas permanentes” (IBRAHIN et al., 2015).

Figura 3 – Classificação da água conforme uso

USOS DAS ÁGUAS DOÇES		ESPECIAL	1	2	3	4
Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas		Classe mandatória em Unidades de Conservação de Proteção Integral				
Proteção das comunidades aquáticas			Classe mandatória em Terras Indígenas			
Recreação de contato primário						
Aquicultura						
Abastecimento para consumo humano		Após desinfecção	Após tratamento simplificado	Após tratamento convencional	Após tratamento convencional ou avançado	
Recreação de contato secundário						
Pesca						
Irrigação			Hortalças consumidas cruas e frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película	Hortalças, frutíferas, parques, jardins, campos de esporte e lazer,	Culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras	
Dessedentação de animais						
Navegação						
Harmonia paisagística						

Fonte: <http://pnqa.ana.gov.br/enquadramento-bases-conceituais.aspx>

Segundo a Portaria Consolidada nº 5, de 28 de setembro de 2017, a água para consumo humano de sistemas de abastecimento obrigatoriamente, mesmo dentro dos padrões de potabilidade, deve passar pelo processo de desinfecção ou cloração (BRASIL, 2017).

2.4 Captação

A captação são estruturas e dispositivos instalados junto ao manancial, para a remoção de água destinada ao abastecimento. Sendo o local da sua implantação o resultado de um conjunto de análises sobre a área, observando informações

hidráulicas do manancial, geológicas, pontos de inundações e de poluição (ABNT NBR 12213, 1992, p.1).

A seleção do manancial e da captação de sua água resultam no êxito do sistema de abastecimento, pois sua preservação e adequada construção fornecem a vazão necessária para o consumo da comunidade (HELLER; PÁDUA, 2010).

Para o projeto de captação de água são necessários equipamentos e dispositivos para controlar nível de água, vazão, interrupção do fluxo nos desarenadores, canalizações e canais. Juntamente com a prevenção e segurança nas operações e manutenções desse sistema (ABNT NBR 12213, 1992, p.3).

Seu planejamento necessita de análises minuciosas, identificando as condições do local, gastos com desapropriações, construção de estações elevatórias e energia elétrica dos motores (NETTO et al., 1998). Para Heller e Pádua (2010), sua localização em pontos que mesmo no período de maior seca, ainda seja realizável a remoção da água em vazão suficiente e qualidade. Construção de equipamentos para impedir a deterioração e bloqueio da captação, obras executadas com a finalidade de propiciar economia nas instalações e facilitar as operações e manutenções.

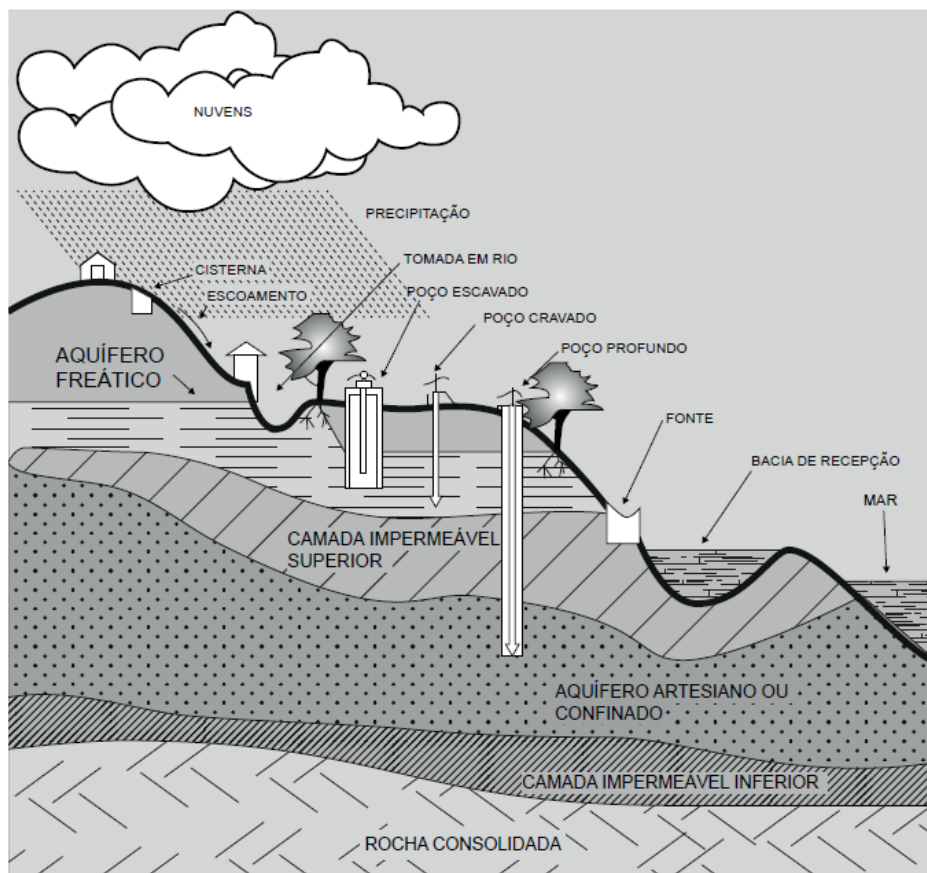
Para cada tipo de manancial há uma forma de captação correta, como ilustra o Quadro 1 e Figura 4, para que não ocorra problemas com a quantidade e qualidade da água requerida, nem prejudique o manancial em questão.

Quadro 1 – Formas de captação

Fontes da água	Exemplo de formas de captação
Água de chuva	Superfície de coleta (cobertura)
Nascente de encosta	Caixa de tomada
Fundo de vales	Galeria Filtrante
Lençol freático	Poço escavado
Lençol Subterrâneo	Poço tubular profundo
Rios, lagos e açudes	Tomada direta (fixa ou móvel)

Fonte: Brasil (2015, p. 84).

Figura 4 – Manancial e sua forma de captação



Fonte: Brasil (2015, p.85).

Na captação superficial, o requisito essencial para a escolha do manancial, se estabelece quando a vazão média excede a de demanda necessária para o abastecimento da comunidade e juntamente deve-se privilegiar os cursos de água com melhor qualidade de água bruta (LIBÂNIO, 2010).

Apresenta como vantagem a distribuição de água por gravidade e como desvantagem o elevado custo com o tratamento da água devido a decomposição das matérias orgânicas, problemas com turbidez, gostos e odores (SHAMMAS; WANG, 2013). Outra vantagem é a facilidade de medição da qualidade de água e desvantagem a presença de bactérias e vírus na água (HOWE et al., 2016)

E os elementos constituintes de um sistema de captação superficial de acordo com a NBR 12213 (ABNT, 1992), são os seguintes:

- Barragem de nível, função elevar o nível de água do manancial a uma cota fixada;

- Tomada de água, equipamentos destinados a transportar a água do manancial para os outros elementos da captação;
- Grade, equipamento formado por barras paralelas, para impossibilitar a passagem de materiais de elevada dimensão;
- Tela, equipamento formado por fios arranjados em malha, que bloqueiam os materiais não retidos na grade;
- Desarenador, destinado a remoção dos materiais com sedimentação igual ou superior a uma quantia fixada.

A captação subterrânea no Brasil, ocorre principalmente de poços do tipo tubular profundo, revestidos com tubos, filtros e pré-filtro ao longo do seu comprimento, para a retenção das partículas finas do aquífero. Sendo sua localização extremamente importante para viabilizar a quantidade e qualidade satisfatória de água, com baixo custo e maior eficiência. E os fatores que atuam na sua localização são classificados em exógenos e endógenos, sendo os primeiros fatores externos como o clima, a vegetação, o relevo e hidrografia. Os segundos, que são os fatores internos, são as estruturas geológicas e a constituição litológica (GIAMPÁ; GONGALES, 2006).

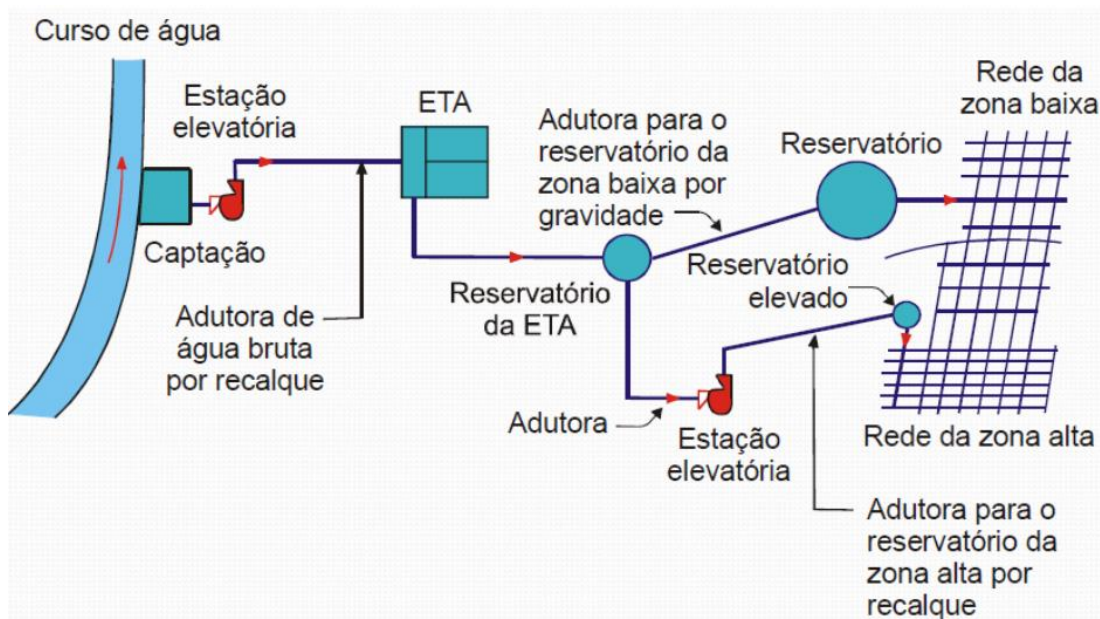
As vantagens da captação subterrânea é a ocorrência próxima a comunidade que será abastecida, diminuição de gastos com a adutora de água bruta e a instalação do tratamento perto do poço (LIBÂNIO, 2010). As características da água bruta, geralmente satisfatória para fins potáveis, pois é mais protegida dos agentes de contaminação, redução dos custos de implantação e de investimento, menores prazos de execução e não submetida aos processos de assoreamento (FERREIRA, 2014). E as desvantagens são alguns aspectos químicos da água, como elevada dureza e sais dissolvidos, que a tornam imprópria para fins potáveis e exigem tratamentos especiais (LIBÂNIO, 2010).

2.5 Adução

As adutoras são canalizações que apresentam como finalidade transportar a água da origem do abastecimento entre os elementos constituintes do sistema que

antecedem a rede de distribuição (SHAMMAS; WANG, 2013), como exemplifica a Figura 5, não distribuindo a água diretamente para as comunidades (TSUTIYA, 2006). Onde o local da origem do manancial estabelece seu tamanho, a forma do transporte, e se serão projetadas para canais abertos ou fechados, de acordo com as condições topográficas e disponibilidade de materiais (SHAMMAS; WANG, 2013).

Figura 5 – Exemplo de Adutoras



Fonte: TSUTIYA (2006, p. 155).

As canalizações unem a captação, a estação de tratamento, os reservatórios e a rede de distribuição, podendo ocorrer derivações da adutora principal em várias secundárias, que são denominadas subadutoras. As adutoras são classificadas segundo a energia de movimentação da água em adução por gravidade, recalque e mistas (GARCEZ, 1976).

Por gravidade, conduzem a água do ponto mais elevado para o mais baixo (MICHELAN, 2016), podendo ser realizado por condutos forçados, onde a água preenche inteiramente a seção de escoamento, sofrendo pressão superior à atmosférica. E por condutos livres, a água preenche somente partes da seção de escoamento, apresentando uma superfície livre, sujeita a pressão atmosférica (BAPTISTA; LARA, 2014). Por recalque, conduzem a água de um ponto para outro mais elevado, através de estações elevatórias. E as mistas constituem-se pela união das duas anteriores. Os materiais mais utilizados para canalizações são o Policloreto de vinila (PVC) e ferro fundido (MICHELAN, 2016).

Para Heller e Pádua (2010), a adução por gravidade apresenta-se como vantagem econômica, contudo necessita-se de um desnível topográfico adequado para assegurar vazão apropriada a todos os pontos de consumo.

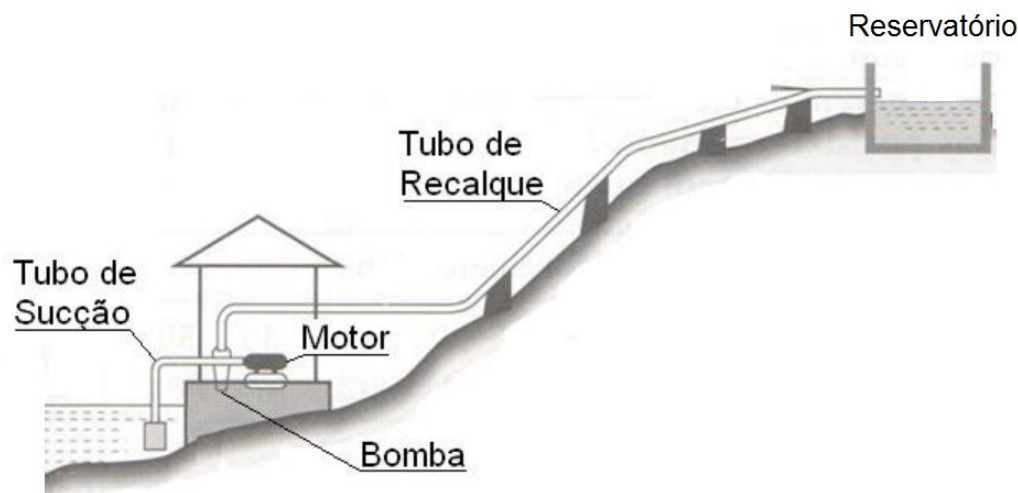
As adutoras podem ser classificadas conforme a natureza da água em de água bruta e de água tratada. Sendo a de água bruta, a que conduz a água sem tratamento do manancial para a estação de tratamento e a de água tratada, conduz a água da estação de tratamento para o reservatório (BRUDEKI; BERNARDI, 2012).

Para o projeto das adutoras faz-se necessário a realização de atividades como a determinação do trajeto abrangendo as condições topográficas, estabelecimento da vazão, dimensionamento estrutural e hidráulico, estudos econômicos, equipamentos para a operação, juntamente com os de manutenção e proteção, e análises do golpe de aríete. Importante que o trajeto da adutora evite regiões submersas, elevadas declividades e obstáculos, vias de elevado tráfego, instaladas de preferência em faixas que são de domínio público, com largura adequada para proporcionar as instalações e manutenções, prevendo o reforço das suas estruturas devido ao fluxo de veículos. Devendo ser instalados equipamentos de controle de vazões, descarga e admissão de ar, para proporcionar a velocidade mínima de arrasto, remoção do material sedimentado e impedimento de acumulação de ar. Juntamente com dispositivos para proteção da adutora, para inspeção, limpeza, medição da vazão, mudanças de direção, alterações de diâmetros (ABNT NBR 12215, 1991), ventosas e para evitar o golpe de aríete (MICHELAN, 2016).

2.6 Recalque / Estação Elevatória

Instalações de recalque ou estações elevatórias são formadas por “bombas e tubulações, utilizados para pressurizar um determinado líquido, a fim de conduzi-lo a um ou vários pontos de consumo, superando desníveis topográficos e perdas ao longo das canalizações” (GOMES, 2009). São constituídos por equipamentos eletromecânicos, como bombas e motores, canalizações de sucção, recalque e barrilete, casa de bombas e poço de sucção (GUDINA; SILVA, 2017), conforme ilustra a Figura 6.

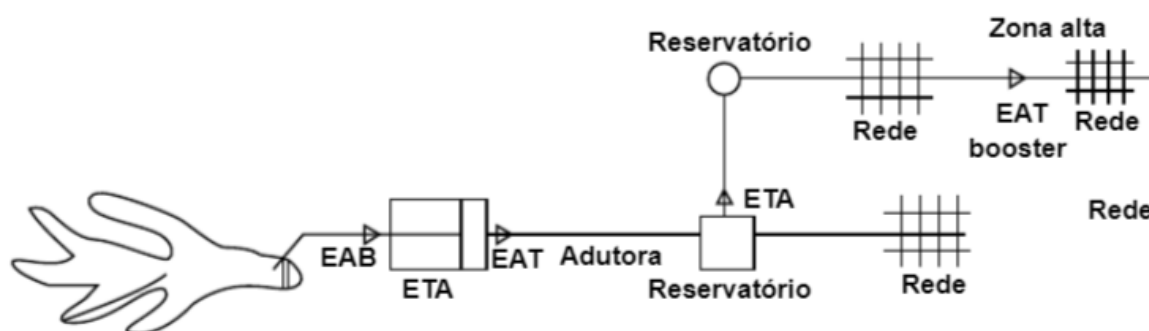
Figura 6 – Exemplo de Estação Elevatória



Fonte: Adaptado de Soares (2012).

As estações elevatórias podem ser empregadas na captação, adução, tratamento e distribuição, porém, apresentam um custo elevado devido a utilização da energia elétrica (BEZERRA; CHEUNG, 2013). Classificam-se em Elevatória de Água Bruta (EAB), quando conduzem a água que não contém tratamento e Elevatória de Água Tratada (EAT), quando conduzem água tratada (MICHELAN, 2016), como exemplifica a Figura 7.

Figura 7 – Localização das estações elevatórias de água tratada e bruta



Fonte: Adaptado de Heller e Pádua (2010, p. 483).

A capacidade da estação elevatória é determinada pela taxa máxima de bombeamento e pela pressão máxima de operação das bombas, onde a taxa máxima de bombeamento é igual ao máximo da demanda diária, ajustada para levar em conta os fatores de pico, horários de operação e medidas de conservação de energia. Devendo-se considerar na seleção da capacidade e operação da estação, o

aproveitamento das taxas de energia elétrica fora do pico de maior custo, em geral durante a noite ou de manhã cedo (METCALF & EDDY, 2004).

Na elaboração de um projeto de sistema de bombeamento, precisa-se determinar a vazão de projeto, tipo de elevatória, trajeto e materiais das tubulações de sucção e recalque, tipo e quantidade de motores e bombas, sistema de operação, fixar as propriedades hidráulicas, dimensionar o poço de sucção, precauções com a segurança com finalidade de excluir os riscos de acidentes nas operações dos dispositivos, maquinários e circuitos elétricos. Para a determinação do local apropriado para sua instalação é importante levar em consideração aspectos como desníveis geométricos, desapropriações, trajeto das canalizações de recalque, acessos definitivos, proteção para inundações, estabilidade para erosão e assoreamento, disponibilidade energética e estabelecimento das bombas junto a tomada de água. Para a elaboração da casa de bombas, deve-se fixar alguns quesitos como quantidade mínima de duas bombas, sendo uma ou mais para reserva em caso de problemas, bombas do mesmo tipo e vazão, e local com adequada iluminação, ventilação, espaço para a instalação e movimentação das partes elétricas (ABNT NBR 12214, 1992).

As canalizações de sucção, devem ser sempre que viável, curtas, para evitar ao máximo a utilização de peças especiais, e ascendentes até atingir as bombas. Já as de recalque devem possuir diâmetro adequado para qual o custo das instalações seja mínimo, pois, diâmetros elevados geram elevados custos, menores velocidades de escoamento e gastos com as bombas, devido as menores alturas manométricas. E menores diâmetros geram baixos custos, elevadas velocidades, perdas de carga e elevados gastos com as bombas, devido a grandes alturas manométricas. Tanto as canalizações de sucção quanto as de recalque operam em escoamento permanente uniforme (SILVESTRE, 1979).

2.7 Estação de Tratamento

A Estação de Tratamento de Água (ETA) é estabelecida como um “conjunto de unidades destinado a adequar as características da água aos padrões de potabilidade” (ABNT NBR 12216, 1992). Constitui-se no elemento do abastecimento,

no qual realiza-se o tratamento da água captada do manancial, possuindo como propósito fundamental a eliminação de impurezas que possam causar riscos à saúde dos consumidores. A seleção do tratamento depende das qualidades definidas e propriedades da água bruta utilizada. Sendo as finalidades do tratamento:

(i) higiênicas - remoção de bactérias, elementos venenosos ou nocivos, minerais e compostos orgânicos em excesso, protozoários e outros microrganismos; (ii) estéticas - correção da cor, turvação, odor e sabor; (iii) econômicas - redução da corrosibilidade, dureza, cor, ferro, manganésio etc (ALVES, 2010).

Para a escolha do tipo de tratamento adequado, além de informações sobre a qualidade pretendida e do manancial, que dependem das condições geológicas, climáticas e das atividades humanas, precisa-se avaliar as capacidades das instalações devido às quantidades necessárias de água, o custo da implantação desse processo, sua capacidade de remoção e menor geração de impactos ambientais (HOWE et al., 2016). Após a escolha do tratamento, define-se seu local de instalação com base nos custos, disponibilidade energética, facilidade de acessos e transportes, possíveis inundações e distanciamento da captação (LIBÂNIO, 2010).

A Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, define quatro níveis de tratamento de água para cada classe de uso de água no abastecimento humano, conforme a Quadro 2. O primeiro é a desinfecção para a classe especial, o segundo é o tratamento simplificado, para a classe 1, que se destina a águas com propriedades físico-químicas e biológicas que possibilitam a sua utilização após desinfecção, filtração e correção de pH se preciso. O terceiro trata-se do tratamento convencional, para as classes 2 e 3, onde aplica-se “coagulação e floculação, seguida de desinfecção e correção de pH”, e por último o tratamento avançado, para a classe 3, que consiste em remover juntamente com os materiais do tratamento convencional, as características de “cor, odor, sabor, atividade tóxica ou patogênica” (BRASIL, 2005).

Quadro 2 – Tratamento conforme classificação do uso da água

Uso	Tratamento	Classificação
Abastecimento Humano	Desinfecção	Especial
	Tratamento Simplificado	Classe 1
	Tratamento Convencional	Classe 2 e 3
	Tratamento Avançado	Classe 3

Fonte: Adaptado de Silva (2015, p. 285).

Em estações onde aplica-se o tratamento simplificado normalmente utiliza-se como desinfetante o cloro, na forma de hipoclorito de sódio, devido a seu custo razoável, elevada capacidade oxidante, efeito residual, fácil medição, monitoramento na rede de distribuição e armazenamento. Juntamente com a fluoretação, que é o acréscimo de fluoretos na água, que diminui a ocorrência de cáries, porém em elevadas quantidades podem trazer problemas aos consumidores e ao operador responsável pela sua dosagem. E a correção de pH, que possui a finalidade de controlar a acidez e alcalinidade para fins de potabilidade, reduzir a potencialidade erosiva da água nas canalizações metálicas e nas infraestruturas de concreto (BITTENCOURT; PAULA, 2014).

O cloro é o desinfetante químico mais comum utilizado no mundo, pela sua acessibilidade e manuseio, porém, devido ser uma substância altamente tóxica, apresenta riscos aos operados das estações de tratamento e aos consumidores se liberado por acidente (METCALF & EDDY, 2004). A sua aplicação no tratamento possui a finalidade de desinfetar e remover os compostos, podendo ser empregado em dois pontos em uma estação de tratamento. A pré-cloração e pós-cloração, onde na primeira aplica-se o cloro antes de algum tratamento, sendo utilizado para remover o manganês, algas e ferro, e na segunda aplica-se o cloro depois da filtração, sendo utilizado para eliminar bactérias e vírus (LOURENÇO, 2002).

No Brasil, os tratamentos mais utilizados são a filtração direta, ascendente e descendente, com ou sem floculação prévia e o tratamento convencional com a floculação, decantação e filtração, devido a escolha dos projetistas em mananciais

menos comprometidos e porque tratamentos mais avançados demandam vários cuidados e equipes especializadas (VIANNA, 2001).

Segundo a NBR 12216 (ABNT, 1992), as águas de abastecimento humano apresentam a seguinte classificação e recomenda para cada uma o tratamento mínimo para sua potabilidade, contemplando parâmetros de Potencial Hidrogeniônico (pH), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Coliformes Fecais (CF), cloretos e fluoretos, como ilustra a Tabela 1:

- Tipo A, subterrâneas e superficiais oriundas de bacia protegida, possuem o tratamento de desinfecção e correção do pH;
- Tipo B, subterrâneas e superficiais oriundas de bacia não protegida, possuem o tratamento de desinfecção, correção do pH e decantação simples quando contém sólidos sedimentados ou filtração, juntamente ou não de decantação, quando possuem turbidez natural;
- Tipo C, superficiais oriundas de bacia não protegida, exigindo o processo de coagulação, juntamente ou não de decantação, filtração, desinfecção e correção do pH para se tornar potável;
- Tipo D, superficiais oriundas de bacia não protegida, sujeitas a poluição, exigindo processo especial de tratamento, além do tipo C, para se tornar potável.

Tabela 1 – Classificação das águas de abastecimento humano

Tipos	A	B	C	D
DBO 5dias (mg/L):				
- média	até 1,5	1,5 - 2,5	2,5 - 4,0	> 4,0
- máxima, em qualquer amostra	1 - 3	3 - 4	4 - 6	> 6,0
Coliformes (NMP/100mL):				
- média mensal em qualquer amostra	50 - 100	100 - 5000	5000 - 20000	> 20000
- máximo	> 100 cm menos de 5% da amostra	> 5000 cm menos de 5% da amostra	> 20000 menos de 5% da amostra	-
pH	5 - 9	5 - 9	5 - 9	3,8 - 10,3
Cloretos	< 50	50 - 250	250 - 600	> 600
Fluoretos	< 1,5	1,5 - 3,0	> 3,0	-

Fonte: ABNT NBR 12217(1994, p. 3).

“As tecnologias de tratamento apresentam, basicamente, três fases nas quais processos e operações unitárias não de se inserir: clarificação, filtração e desinfecção”. Para as águas provenientes de manancial subterrâneo, devido a suas características, faz-se necessário somente a desinfecção, porém, conforme diminui a qualidade da água, inclui-se a clarificação, que constituem a decantação/flotação, coagulação e floculação, com o objetivo de remover os sólidos suspensos, dissolvidos e coloidais. A filtração é utilizada para remoção dos sólidos dissolvidos, juntamente com os protozoários e bactérias, e por fim, a desinfecção que efetua na eliminação dos vírus e bactérias que ainda estão presentes (LIBÂNIO, 2010).

A Portaria Consolidada do Ministério da Saúde nº 5, de 28 de setembro de 2017, estabelece os processos de controle, vigilância e padrões de potabilidade da água tratada. Para satisfazer o requisito de potabilidade, a água precisa ser exposta a processos químicos, físicos e combinação destes. Sendo que quando a desinfecção é realizada por cloro, por questões de segurança, principalmente em água subterrâneas, deve-se observar o tempo de contato e valor das concentrações residuais nas saídas dos tanques de contato, e a obrigatoriedade da “manutenção de, no mínimo, 0,2 mg/L de cloro residual livre ou 2 mg/L de cloro residual combinado ou de 0,2 mg/L de dióxido de cloro em toda a extensão do sistema de distribuição (reservatório e rede)”. E quando houver a fluoretação, os valores apresentados devem seguir a Portaria do Ministério da Saúde nº 635/GM de 26 de dezembro de 1975 (BRASIL, 2017).

A potabilidade da água para consumo humano, possui como finalidade a adequação da água bruta conforme padrões estabelecidos pela Portaria, as características biológicas, físicas e químicas, que podem ser mudadas por contaminantes de inúmeras origens. Sendo que os controles do tratamento das águas provenientes de abastecimento são oriundos de análises físico-químicas (LIBÂNIO, 2010).

A forma de coleta da água ou de amostragem, para determinação do tratamento e sua eficiência, são de extrema importância, para que não ocorra o comprometimento e alterações da qualidade da água coletada, precisando dispor de um controle rigoroso, administração do tempo de deslocamento e coleta. Juntamente com a utilização de recipiente apropriado, armazenamento e quantidade adequada,

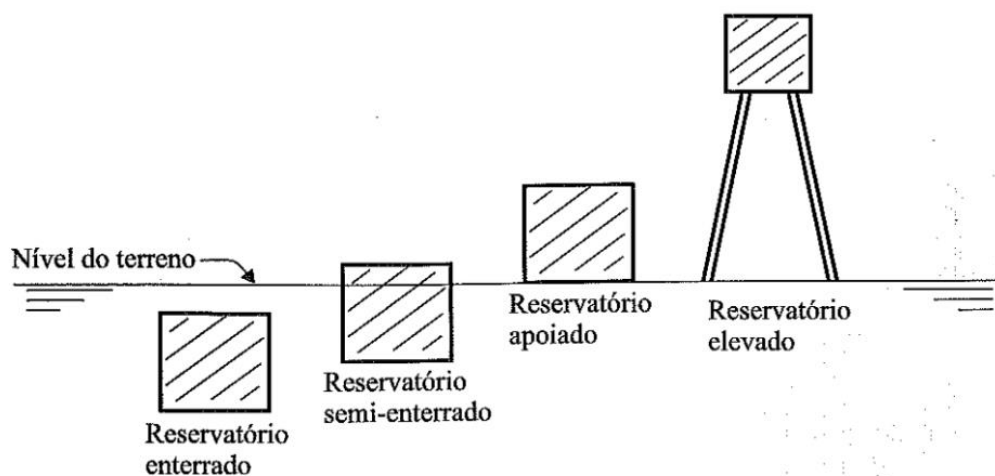
sendo no mínimo o dobro da necessária, além do cuidado com a contaminação do frasco, principalmente nas tampas, por isso a utilização de plástico. Nos reservatórios as amostragens são realizadas na entrada e saída de fluxo. E os kits de análise dos parâmetros básicos de caracterização da qualidade de água, como pH, cloro, turbidez, coliformes etc, também são importantes, pois para alguns desses parâmetros os resultados são adquiridos logo após a reação da água com os reagentes, propiciando assim análises iniciais da amostra da água (SILVA, 2015).

Na casa de químicas de estações de tratamento de águas subterrâneas, utiliza-se bombas dosadoras, que são equipamentos para a dosagem dos produtos químicos, em questão o Hipoclorito de Sódio, que funcionam através de motores elétricos e movimentos de pistões ou diafragmas. As bombas dosadoras são “dimensionadas em função da vazão de dosagem, de modo que sua capacidade máxima seja igual ao dobro da vazão de dosagem e a pressão de injeção de acordo com a pressão no ponto de aplicação”. O Hipoclorito de Sódio é acondicionado em bombonas, devendo ser armazenado em ambientes fechados e abrigados de calor e luz (SOUZA, 2007), por ser um produto agressivo e enfraquecer-se com o tempo (VIANNA, 2001).

2.8 Reservação

Os reservatórios são os elementos destinados a compensar as variações de vazão, assegurar reservas para combates a incêndios e outras emergências, regularizar as pressões nas redes de distribuição e garantir segurança ao abastecimento (BRAGA et al., 2015). Podendo ser classificados conforme sua posição em relação ao terreno em enterrados, semi-enterrados, apoiados e elevados, como exemplifica a Figura 8. Ainda podem ser classificados em função da sua posição à rede em montante ou jusante (NETTO et al, 1998) e pelo seu material de construção como de fibra de vidro, aço, concreto armado, madeira e alvenaria (GARCEZ, 1976).

Figura 8 – Posição dos reservatórios



Fonte: TSUTIYA (2006, p. 344).

Os reservatórios de jusante localizam-se após a rede de distribuição, conforme ilustra a Figura 9 e fornecem ou recebem a água da rede, abastecendo a rede principalmente em períodos que o consumo é maior que a adução, devido a isso são chamados de reservatórios de sobras. Já os reservatórios de montante, localizam-se antes da rede, toda a água que abastece a rede de distribuição passa por eles, pois sempre fornecem a água e são projetados para conservar a vazão e altura manométrica da adução constante. Os reservatórios apresentam algumas desvantagens, como elevado custo de implantação, geração de impacto ambiental dependendo do local da sua instalação e sua localização, para conseguir satisfazer os quesitos de variação de pressão da rede (MICHELAN, 2016).

Figura 9 – Reservatório de jusante (sobras)



Fonte: TSUTIYA (2006, p. 341).

O volume de reservação total é resultante da soma dos volumes úteis de todos os reservatórios de uma zona de pressão, onde o volume útil é o volume que localiza-se entre os níveis máximos e mínimos, que são os valores de maior nível de água alcançado nas situações normais de operação e o menor nível que impede o surgimento dos fenômenos como vórtices, cavitação e arraste dos sedimentos (ABNT NBR 12217, 1994). O volume armazenado deve ser $\frac{1}{3}$ do volume distribuído no dia de consumo máximo (FERNANDES et al., 2013).

Segundo a Portaria Consolidada do Ministério da Saúde nº 5, de 28 de setembro de 2017, precisa-se assegurar que a potabilidade da água resultante da estação de tratamento de água seja conservada até as ligações prediais (BRASIL, 2007), ressaltando assim, a importância dos reservatórios no abastecimento de água.

Na elaboração de um projeto de reservatório, precisa-se das cotas dos níveis de água, realizar estudos das condições topográficas, local as unidades, definir o material e forma, dimensionar o reservatório e suas tubulações de extravasão, descarga, entrada e saída, juntamente com a definição dos acessórios e instrumentos. Na definição da forma e material, procura-se propiciar economia em função da estrutura adotada e na área do terreno a ser utilizada, estudar a disponibilidade de material da região e o nível de agressividade da água a ser armazenada. Deve-se instalar dispositivos de ventilação, que possuem a finalidade de impedir os esforços provenientes do aumento e diminuição das pressões internas, de indicação de nível de água, de extravasão com capacidade para a vazão máxima afluyente, para impedir a entrada de pessoal não autorizado, para raios e sinalização de obstáculo elevado. E de preferência, a reservação total ser projetada com duas câmaras independentes, exceto nos reservatórios elevados (ABNT NBR 12217, 1994).

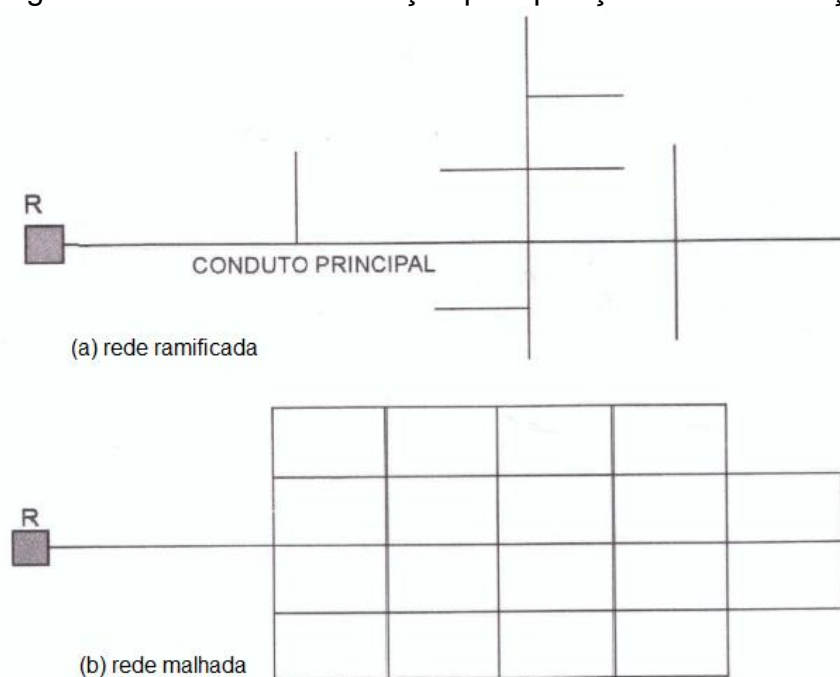
2.10 Rede de Distribuição

A rede de distribuição caracteriza-se pelas canalizações e acessórios, que distribuem continuamente a água potável aos consumidores (PUPPI, 1981), com quantidade e pressão mínima adequada por 24 horas (OKUN; ERNST, 1987). A rede é constituída de condutos principais e secundários (ABNT NBR 12218, 1994), onde os principais possuem maiores diâmetros e o intuito de abastecer os secundários, que

por sua vez, possuem diâmetros menores e o intuito de abastecer os próprios pontos de consumo do sistema de abastecimento (MICHELAN; FERREIRA, 2017).

As redes de distribuição classificam-se conforme a posição das canalizações, em ramificada ou malhada, sendo que a ramificada, apresenta um único sentido para o escoamento, caracterizando-se pela união de vários condutos com um principal. As ramificadas têm como vantagem o baixo custo de implantação e como desvantagens, a aptidão para depósitos de sedimentos nas extremidades da rede e em casos de acidentes, onde ocorra o interrompimento do escoamento, todo o sistema de abastecimento nas tubulações a jusante serão interrompidos (BAPTISTA; LARA, 2014). Recomenda-se a utilização de rede ramificada, somente quando as condições topográficas e os pontos de consumo não possibilitem o traçado com a rede malhada. A rede malhada caracteriza-se por trechos interligados em forma de anéis ou malha, resultando que os sentidos das vazões mudem conforme as demandas nos nós, permitindo o abastecimento em qualquer ponto por mais de um caminho e apresentando como vantagem a flexibilidade para satisfazer as demandas e manutenções na rede com mínimos interrompimentos no abastecimento de água (FERNANDES et al., 2013).

Figura 10 - Rede de distribuição pela posição das canalizações



Fonte: Adaptado de Baptista e Lara (2014, p. 112).

Para o trajeto das redes, recomenda-se que os condutos sejam assentados em vias ou espaços públicos sem edificações, de preferência sob as calçadas, que os condutos das artérias principais devam ser “dirigidas às zonas de maior demanda” e que onde há pontos ramificados, sejam instaladas válvulas de descargas em locais finais e baixos para proporcionar o esvaziamento. Para a determinação do tipo de canalização, utiliza-se alguns critérios como diâmetro, custo da canalização e implantação, pressões, cargas externas, manutenções, qualidade da água conduzida e propriedades do solo onde serão implantadas (GOMES, 2009).

Os materiais disponíveis para as canalizações das redes são o Policloreto de Vinila (PVC), polietileno, ferro fundido e aço. E a rede possui acessórios como hidrantes, curvas, reduções, tês, válvulas de manobra, de descargas, dispositivos para proteção da rede, fechamento e controle das canalizações e fluxo, todos devendo suportar pressões e esforços para serem enterrados (FURUSAWA, 2011).

Existe a dominação da utilização das canalizações de PVC e ferro fundido, onde as de PVC são implantadas para diâmetros nominais inferiores a DN 500 e apresentam como vantagens reduzido custo de deslocamento e implantação devido ao seu peso baixo, “alta resistência à corrosão, ao ataque químico de água impuras e a baixa rugosidade das paredes do tubo”, sendo classificado em PBA (Ponta e Bolsa com junta elástica com Anel de borracha) na cor marrom e PVC modificado, com diâmetros equivalentes aos dos tubos de ferro fundido (DEFoFo) na cor azul, como ilustra as Figuras 11 e 12. As canalizações de ferro fundido são implantadas para diâmetros maiores, são constituídas por ligas de ferro e carbono, e classificam-se em cinzento e dúctil, sendo restrita a utilização ao dúctil em sistemas de distribuição de água (GOMES, 2009).

Figura 11 – Canalização PBA



Fonte: Autora (2019).

Figura 12 – Canalização DeFoFo



Fonte: <http://amanco.com.br/produtos/infraestrutura/saneamento-agua/defofort/tubo-amanco-ductilfort>

Na elaboração do projeto de rede de abastecimento é necessário definir o trajeto dos condutos, delimitar as zonas de pressões e perímetro da área a ser provida, fixar o volume dos reservatórios, dimensionar os condutos, instrumentos e acessórios. Estabelecer que a pressão dinâmica mínima nas tubulações seja 10 mca e a pressão máxima de 50 mca, devido à relação ao custo de instalação, operação e qualidade do serviço. Juntamente com diâmetro mínimo de 50 mm para impedir perdas exageradas no sistema, que consigam prejudicar as pressões e vazões uniformes disponíveis aos consumidores, e velocidade máxima nas tubulações de 3,5 m/s e mínima de 0,6 m/s, devido a segurança da rede hidráulica, pois elevadas velocidades causam elevadas perdas de cargas, vibrações e riscos de danificação nas canalizações, conexões e acessórios. A velocidade mínima é proposta para que sempre ocorra a movimentação de água na rede, não prejudicando a qualidade da água para os consumidores (ABNT, NBR 12218, 1994). Para o controle da pressão

mínima e máxima, instala-se bombas e válvulas redutoras de pressão (RICCALDONE, 2016).

2.10 Legislação

A Lei 9.433, de 08 de janeiro de 1997, intitulada como Lei das Águas, estabelece a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Singreh) e dispõe que a água é um bem de domínio público, limitado e com valor econômico. Determina que em casos de escassez a prioridade é o consumo humano seguido do consumo dos animais. Assegura os múltiplos usos da água, a administração dos recursos hídricos com atuação das comunidades, usuários e poder público, que a “bacia hidrográfica é a unidade territorial para a implementação” da PNRH e do Singreh, e que para o uso da água necessita-se de outorga de uso concedida pelo poder público federal ou estadual, dependendo de com quem está o domínio dessa água. Nesse uso, estão inclusos os sistemas de abastecimento de água, extração de manancial por aquífero subterrâneo e lançamentos de esgotos nos corpos hídricos (BRASIL, 1997).

O Singreh possui como objetivo administrar a gestão das águas, resolver as divergências sobre os recursos hídricos, regulamentar, controlar, preservar, recuperar os usos e recursos hídricos, juntamente com proporcionar a arrecadação pelo uso dos recursos. É composto por “representantes do Conselho Nacional de Recursos Hídricos; Agência Nacional de Águas (ANA); Conselhos de Recursos Hídricos dos Estados e do Distrito Federal; Comitês de Bacia Hidrográfica; órgãos dos poderes públicos” (IBRAHIN et al., 2015).

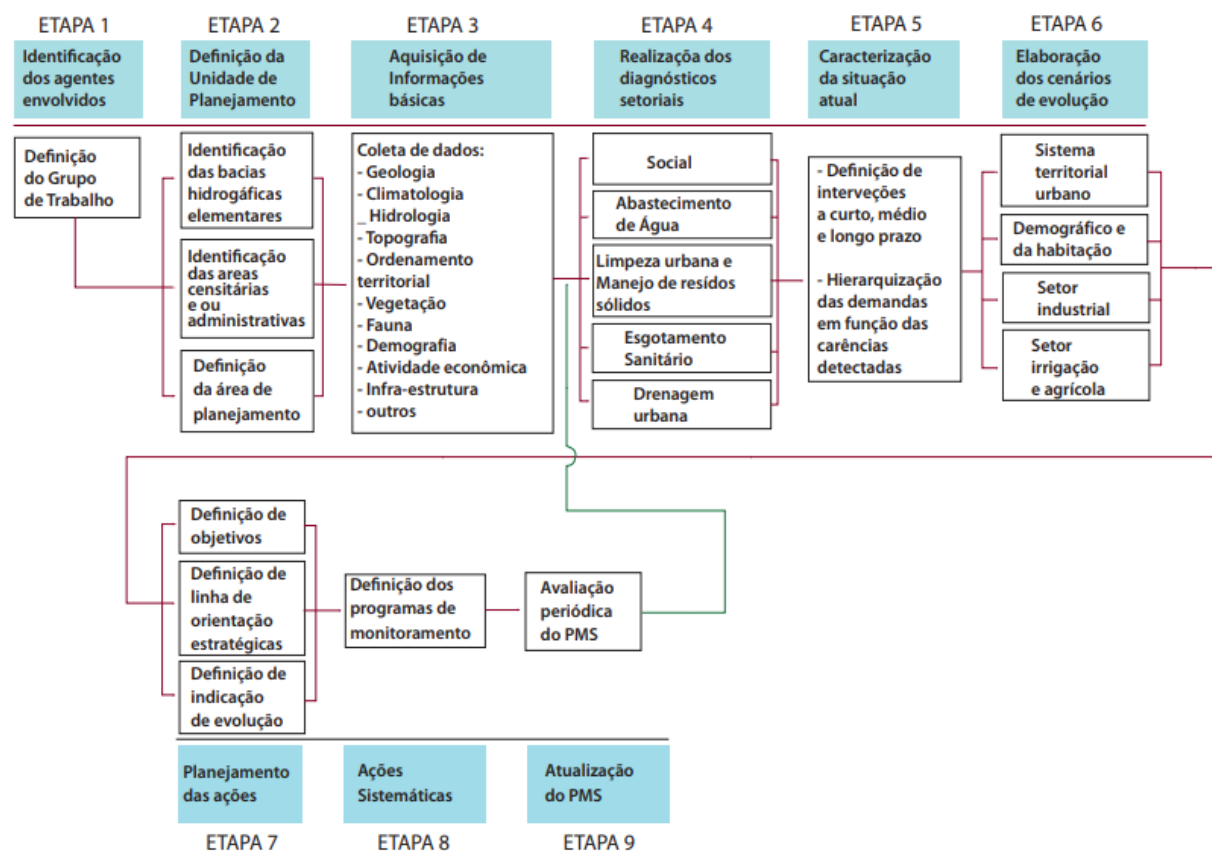
A Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, “dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes”. Estabelece os padrões de qualidade, as características físicas, químicas e biológicas que devem ser monitoradas e a classificação dos tratamentos (BRASIL, 2005).

A Lei de 11.445, de 5 de janeiro de 2007, estabelece as diretrizes nacionais do saneamento básico, especificando as necessidades de garantia de atendimentos das populações urbanas e rurais dos municípios, por meio de projetos compatíveis às suas

particularidades econômicas e sociais. Determina os conceitos essenciais para prestação dos serviços, as obrigações dos titulares e dos municípios para a elaboração do Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB). Os requisitos para a delegação e retoma dos serviços, as orientações sobre a relação entre os titulares e os prestadores de serviços. Envolve ainda as esferas federais, estaduais e municipais, onde para o governo federal obriga a elaboração do Plano Nacional de Saneamento Básico (Plansab), já para o estadual a responsabilidade sobre as companhias que prestam os serviços de abastecimento de água, tratamento de esgoto e assegurar que os serviços sejam cumpridos de forma correta e favorável a população. E por fim, para a esfera municipal, a determinação se as prestações de serviços serão de forma direta ou indireta, disposição dos processos para prestações de serviços, escolha dos princípios para garantia da qualidade de água em quantidades suficientes, estabelecimento dos direitos e deveres dos consumidores e órgãos responsáveis pelas fiscalizações e regulamentações, criação de sistemas de informações sobre os serviços e estabelecimento de sistemas de cobranças de taxas e tarifas (BRASIL, 2007).

O Plano Municipal de Saneamento Básico é importante instrumento para a contemplação das populações, auxiliando na elaboração de informações e diagnósticos, como ilustra a Figura 13 com as etapas essenciais, para definir os objetivos que a população pretende para sua cidade, universalizando e qualificando os serviços de saneamento básico. E sua concepção apropriada, é estabelecida por estudos comparando as viabilidades técnicas, econômicas, ambientais e institucionais entre as opções estudadas, considerando as vantagens e desvantagens. Na análise técnica compatibiliza-se as tecnologias empregadas, equipes operacionais e vulnerabilidades dos sistemas, na análise econômica considera-se estudos econômicos sobre os investimentos e despesas de cada uma das alternativas e na análise ambiental identifica-se e avalia-se os impactos de cada uma das alternativas nas suas implantações e operações (BERNARDI; BRUDEKI, 2013).

Figura 13 – Etapas essenciais para a elaboração do PMSB



Fonte: Brasil (2011, p. 60).

Na elaboração do plano municipal, realiza-se o diagnóstico do sistema de abastecimento de água, onde leva-se em consideração o manancial, por ser o elemento fundamental para o planejamento, que condiciona a tecnologia empregada no restante dos componentes, juntamente com debates sobre os riscos abrangidos, custos e outorgas, e realiza-se os levantamentos de todo o sistema de abastecimento, verificando sobre suas capacidades e características, que devem ser bem analisadas, pois influenciam no seu funcionamento atual, futuro e nas suas perdas (BRASIL, 2011).

Sobre os estudos e propostas dos planos, necessita-se da participação da sociedade, para que possam tomar as decisões que irão determinar as configurações da infraestrutura dos serviços, como de manejo dos resíduos sólidos, limpeza urbana, proteção do meio ambiente, esgoto sanitário e abastecimento de água de sua localidade (PHILIPPI; GALVÃO, 2012).

O Plano Nacional de Saneamento Básico é formado pelos programas de “Saneamento Básico Integrado; Saneamento Rural; Saneamento Estruturante”, onde o de saneamento rural está sendo elaborado e será coordenado pela Fundação Nacional de Saúde (FUNASA) a partir do Plano Nacional de Saneamento Rural (PNSR), levando em consideração as diferenças econômicas e culturais entre as comunidades rurais, que influenciam no saneamento básico, perante seus fatores ambientais, tecnológicos, educativos e de sustentabilidade (PILOTTO, 2015).

Conforme a Lei de 11.445, de 5 de janeiro de 2007, os municípios possuem a obrigação de garantir o atendimento das populações para o abastecimento de água. Porém, em algumas localidades rurais o município não garante esse serviço, ou não apresenta condições de o manter. Então, cria-se associações rurais, formadas por um regimento de próprios consumidores, elaborando um estatuto que deve ser levado ao registro civil, onde a associação e seus associados, devem respeitar os requisitos que constam no seu estatuto social, exigidos pelo Código Civil, artigos 46 e subsequentes, e 54 e subsequentes (BRASIL, 2002).

O estatuto deve constar quais são as atuações entre os associados, garantia do serviço com tecnologias condizente com sua realidade, os direitos e deveres dos usuários para a aquisição e aproveitamento dos serviços, sobre o pagamento das cobranças de taxas e tarifas de água estipuladas, levando em consideração as capacidades de pagamento do consumidor e a “sustentabilidade financeiras dos próprios sistemas”, as penalidades sobre os descumprimento dos deveres, resultando em suspensão e exclusão (PHILIPPI; GALVÃO, 2012). Deve conter também as finalidades da associação, composição da associação, da diretoria e do conselho fiscal, juntamente com as suas competências. O processo eleitoral, condições de perda e renúncia de mandato, a organização financeira, patrimônio e disposições gerais.

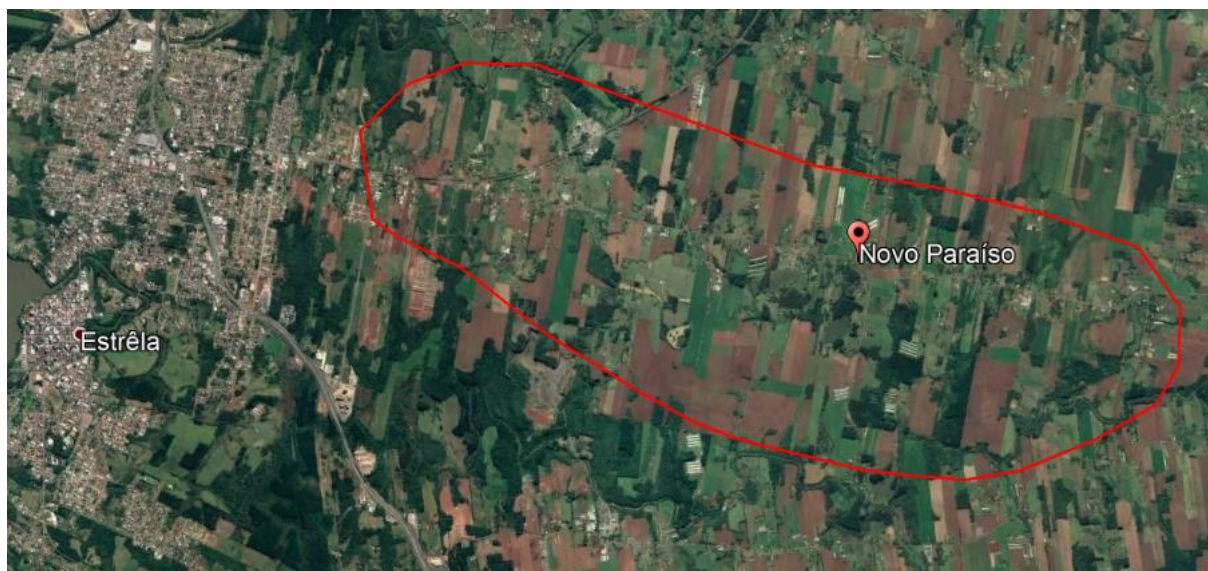
Os principais deveres do associado é pagar o valor da ligação de água e as tarifas de consumo, comprar e instalar um hidrômetro padrão, conservar o seu funcionamento, se responsabilizar por desperdícios de água, participar das assembleias gerais, votar e reclamar para a Diretoria e ser penalizado quando tiver realizado uma ligação de água clandestina. E os da diretoria são administrar a associação e seus bens, executar o estatuto e realizar tomadas de preços ou licitações

para compras de materiais e equipamentos necessários, sendo escolhido a partir de votação na assembleia geral, perante votos concordantes de dois terços dos presentes.

3 METODOLOGIA

O sistema em estudo, localiza-se em uma comunidade rural do município de Estrela/RS, na Linha Novo Paraíso, como ilustra a Figura 14. O sistema de abastecimento pertence a uma associação, onde o abastecimento é operado pelos próprios moradores e possui uma população de 1.650 pessoas abastecidas, quatro poços artesianos e uma extensão de rede de aproximadamente 27,80 quilômetros.

Figura 14 – Localização área de estudo



Fonte: Google Earth.

Com a finalidade de caracterizar tecnicamente a integridade desse sistema, foram realizados levantamentos bibliográficos, pesquisas a campo e coletas de dados para a compreensão, análise e interpretação dos dados com a finalidade de diagnosticar e planejar ações para o tornar eficiente, pois o sistema apresenta regiões com problemas na vazão e pressão da distribuição de água.

Aplicou-se procedimentos de registros fotográficos e observações diretas, visando também a descrição da estrutura física do abastecimento atual, caracterizando as condições e localização da captação, adução, tratamento de água e reservação. Além disso, analisou-se através das pesquisas a campo e bibliografias, os aspectos referentes à disponibilidade de água e dados básicos necessários para o dimensionamento no Excel, como população atendida, vazão e variações de consumo para cada rede, juntamente com as condições topográficas, disponibilidade econômico-financeira, extensões, diâmetros e materiais empregados nas tubulações, buscando as melhores soluções técnicas, econômicas e sociais, visto que a solução correta para resolver o problema de abastecimento desse sistema, deve ser a mais compatível a realidade social encontrada.

Para a realização do diagnóstico qualitativo da água utilizada no abastecimento, oriunda da exploração de poço artesiano, buscou-se junto à comunidade rural o histórico dos relatórios mensais de coleta de amostras de água na saída do tratamento para os quatro poços utilizados, onde são avaliados os parâmetros de Cloro Residual Livre, Cor Aparente, Potencial Hidrogeniônico (pH), Turbidez (Tu), Coliformes, Cloretos, Dureza e Fluoretos, comparando os resultados com os valores máximos permitidos pela Portaria Consolidada do Ministério da Saúde nº 5, de 28 de setembro de 2017, como consta na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores máximo permitido para os parâmetros

Parâmetro	Unidade	Valor Máximo Permitido
Cloreto	mg/L	250
Cor Aparente	uH	15
Dureza Total	mg/L	500
Ferro	mg/L	0,3
Turbidez	uT	5
pH	--	6 - 9,5
Cloro Residual Livre	mg/L	5
Fluoreto	mg/L	1,5

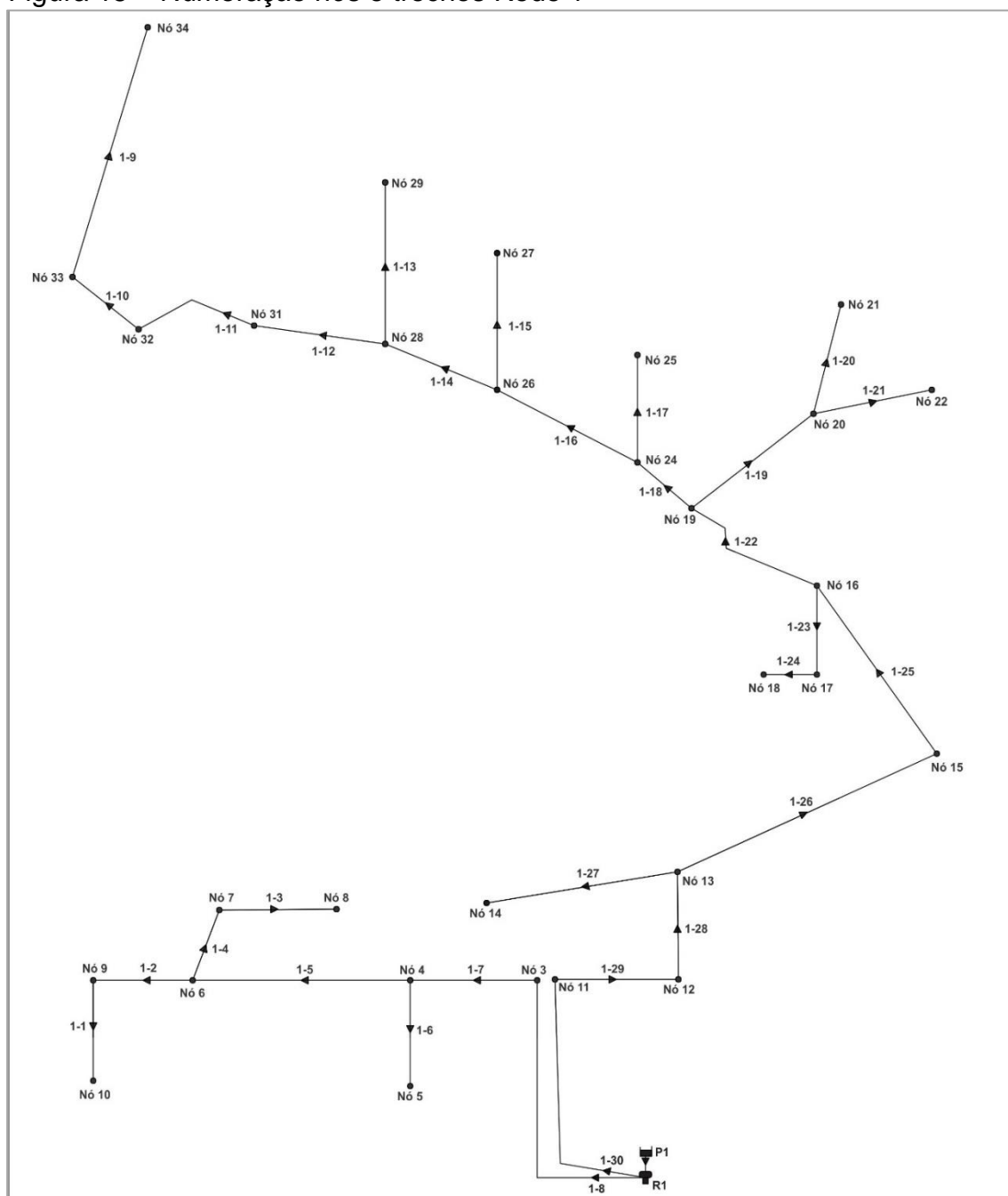
Fonte: Adaptado de Portaria Consolidada Ministério da Saúde nº 5, de 28 de setembro de 2017.

As amostras mensais das águas dos poços do sistema são realizadas por uma empresa particular que presta esse serviço a associação, onde todo mês é coletada

a amostra de água na saída de tratamento e posteriormente enviada para laboratório credenciado no Inmetro para a execução das análises destas.

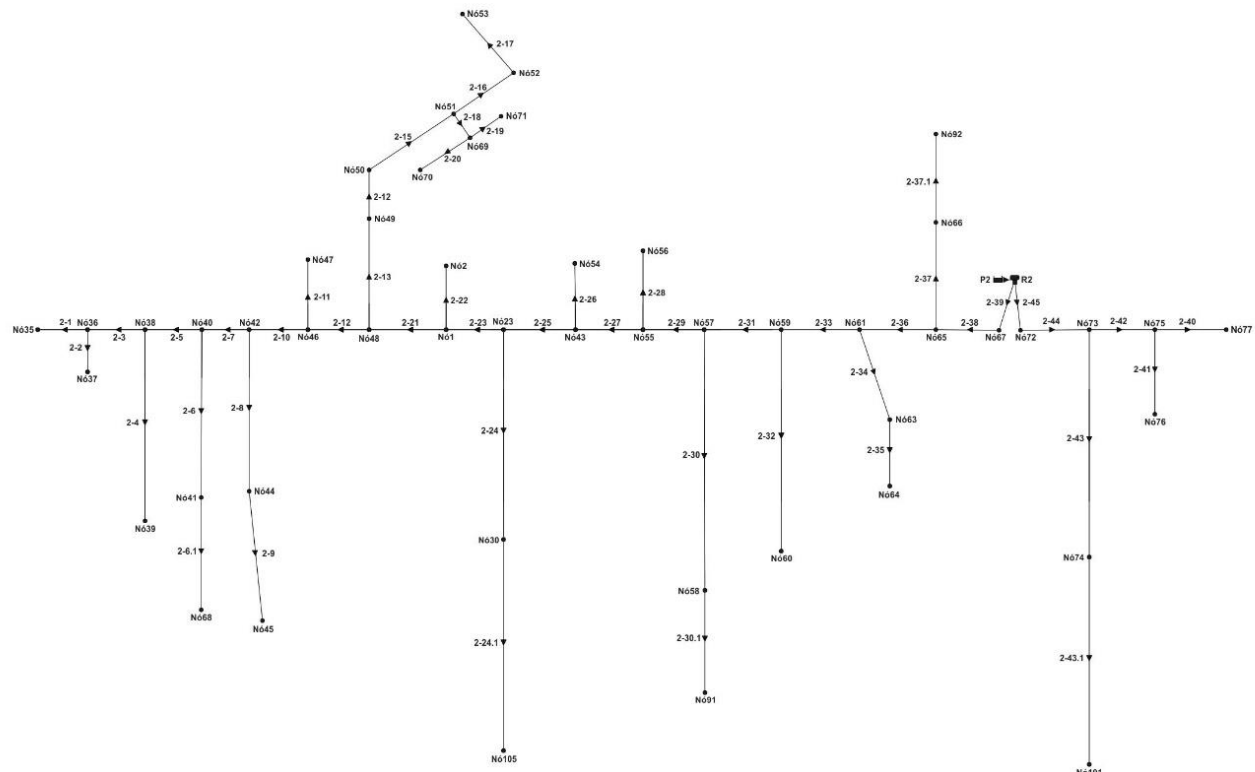
Devido aos estudos realizados, constatou-se que a rede de distribuição atual é formada por quatro redes independentes, conforme o Anexo A, que serão nomeadas como Rede 1, 2, 3 e 4, sendo a numeração dos trechos e nós de cada uma destas redes identificados nas Figuras 15 a 18.

Figura 15 – Numeração nós e trechos Rede 1



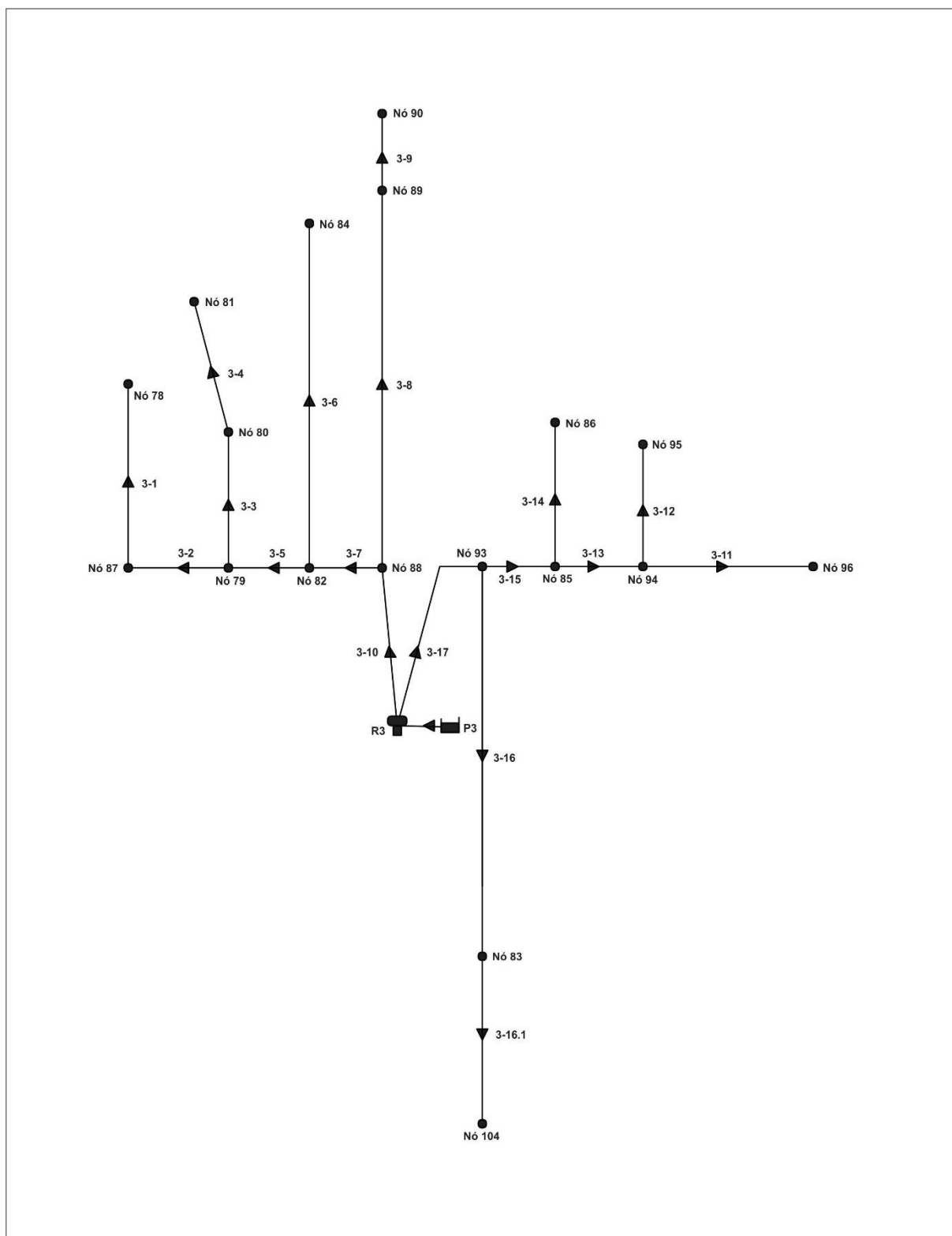
Fonte: Autora (2019).

Figura 16 – Numeração nós e trechos Rede 2



Fonte: Autora (2019).

Figura 17 – Numeração nós e trechos Rede 3



Fonte: Autora (2019).

Utilizou-se o programa EPANET para a realização do traçado das redes e simulações hidráulicas que possibilitaram a verificação, diagnóstico e planejamento de ações que garantam a capacidade do sistema.

Como as redes de distribuição do sistema em estudo são ramificada, no seu dimensionamento no Excel, conhecendo-se os sentidos de escoamentos, os valores de vazões, diâmetros, extensões e o coeficiente de rugosidade, calculou-se as perdas de carga, as velocidades e as pressões disponíveis, que devem respeitar os valores estipulados pela norma NBR 12218 (ABNT, 1994).

3.1 Determinação das vazões de distribuição

A vazão total de distribuição é o parâmetro essencial para o dimensionamento de redes de distribuição, sendo estabelecida levando em considerações as variações climáticas ao longo dos anos e as diárias ao longo do dia, para assegurar o abastecimento nos momentos de maior consumo. No Brasil, para os coeficientes k_1 e k_2 , adota-se respectivamente, o valor de 1,2 e 1,5 (ABNT, NBR 9649, 1986). Sendo a vazão máxima obtida através da Equação 1.

$$Q = \frac{P \cdot q}{3600 \cdot h} \cdot k_1 \cdot k_2 \quad (1)$$

Onde:

Q = vazão máxima (L/s);

P = população a ser abastecida;

q = consumo *per capita* (L/hab.dia);

k_1 = coeficiente diário de maior consumo;

k_2 = coeficiente horário de maior consumo;

h = número de horas de desempenho dos elementos do sistema.

Para os dados de consumo *per capita*, constatou-se os valores de consumo diário dos quatro poços utilizados entre os meses de julho de 2018 a julho de 2019, utilizando-se para o cálculo o mês de maior consumo diário no ano.

3.2 Determinação dos diâmetros das tubulações

Para obtenção dos diâmetros necessários para as tubulações a serem adotadas, utilizou-se a Tabela 3, levando-se em consideração a velocidade máxima permitida e a vazão fictícia encontrada em cada um dos trechos. Sendo a vazão fictícia, a média aritmética entre a vazão de jusante e montante de cada trecho.

Tabela 3 – Determinação diâmetros

Diâmetro DN (mm)	Velocidade máxima (m/s)	Vazão máxima (L/S)
50	0,5	1
75	0,5	2,2
100	0,6	4,7
150	0,8	14,1
200	0,9	28,3
250	1,1	53,9
300	1,2	84,8
350	1,3	125
400	1,4	176
450	1,5	238
500	1,6	314
550	1,7	403
600	1,8	509

Fonte: Adaptado de Martins (1976, p 34).

3.3 Determinação das velocidades nas tubulações

As velocidades são obtidas pela razão entre a vazão montante de cada trecho e a área da tubulação, encontrada através dos diâmetros estabelecidos em cada um dos trechos da rede. Assim, o cálculo da velocidade é expresso pela Equação 2:

$$V = \frac{Q_{montante}}{A} \quad (2)$$

Onde:

V = velocidade (m/s);

Q_{montante} = vazão montante em cada trecho (m³/s);

A = área da tubulação empregada em cada trecho (m²), expressa pela Equação 3:

$$A = \frac{\pi.D^2}{4} \quad (3)$$

Onde:

D = diâmetro da tubulação em cada trecho (m).

3.4 Determinação das perdas de carga

A perda de carga contínua ocorre devido ao atrito interno entre as partículas, que geram escoamentos com variadas velocidades, que são causadas pelas propriedades do fluido e as das tubulações, que são formadas pelo diâmetro e a rugosidade (BAPTISTA; LARA, 2014). Onde é importante para a economia e segurança das instalações os conhecimentos das perdas de cargas unitárias em cada um dos trechos da rede, que é determinada pela Equação 4 de Hazen-Williams, pelas vantagens que apresenta, ao ser empregada em seja qual for o tipo de material ou conduto e pela obtenção de valores corretamente estabelecidos do coeficiente C (NETTO et al., 1998).

$$hf = 10,65.Q^{1,85}.C^{-1,85}.D^{-4,87} \quad (4)$$

Onde:

Q = vazão de cada trecho (m³/s);

C = coeficiente de Hazen – Willians (mm);

D = diâmetro da tubulação em cada trecho (m).

Para o estabelecimento do coeficiente de rugosidade, baseia-se no tipo de material utilizado nas tubulações e os anos de uso, neste caso, utilizou-se novos e usados 20 anos.

A perda de carga proporcional à distância, dada em metros de coluna d'água (mca), é determinada pela multiplicação da perda de carga unitária de cada trecho pela extensão em cada trecho, conforme Equação 5.

$$HF = hf . extensão_{trecho} \quad (5)$$

Onde:

hf = perda de carga em cada trecho (m).

3.5 Determinação das cotas do terreno e cotas piezométricas

Para as cotas do terreno, realizou-se por meio de visitas a campo e pela utilização do equipamento de Sistema de Posicionamento Global (GPS) o recolhimento dos dados, sendo assim viável determinar as cotas de montante e jusante de cada trecho da rede de distribuição.

Já para as cotas piezométricas, a pressão de partida utilizada no dimensionamento foi determinada a partir da cota do reservatório mais sua altura de reservação, resultando na cota piezométrica em montante de partida. Conforme o traçado da rede, realizou-se a diminuição das perdas de carga para estabelecimento das demais cotas piezométricas em jusante e montante. Realizando-se sentido contrário de cálculo, comparado ao dimensionamento de um novo sistema.

3.6 Pressões Disponíveis

As pressões disponíveis a montante e jusante em cada um dos trechos são determinadas pela diferença entre a cota piezométrica e a cota do terreno, precisando atender a necessidade de 10 mca no final de cada um dos trechos e não podendo ultrapassar 50 mca.

3.7 Determinação da reservação

O volume de reservação necessário para atender as demandas de consumo é obtido através da Equação 6, onde devido a adução contínua de 24 horas por dia, o volume de reservação indicado é $\frac{1}{3}$ do volume distribuído.

$$V_{RSV} = \frac{1}{3} \cdot Q \cdot 86400 \quad (6)$$

Onde:

V = volume (m³);

Q = vazão (m³/s), obtida através da Equação 7, levando em consideração somente o coeficiente k1.

$$Q = \frac{P.q}{3600.h} \cdot k_1 \quad (7)$$

3.8 Utilização do EPANET

Para a simulação hidráulica da rede de abastecimento de água, foi utilizado o programa EPANET, que é um instrumento de apoio para as análises dos sistemas de distribuição, aprimorando os conhecimentos sobre os transportes e destinos dos elementos da água para consumo humano. Podendo ser empregado em variados casos, onde faz-se necessário realizar simulações dos sistemas de distribuição pressurizada.

“o EPANET é um programa computacional que permite simular o comportamento hidráulico de um sistema pressurizado de distribuição de água, ao longo do tempo. O sistema pode ser composto por uma rede de tubulações (malhada ou ramificada), estações de bombeamento, diversos tipos de válvulas e reservatórios de nível fixo e variável. O EPANET também simula o comportamento de parâmetros da qualidade da água [...] permite obter valores de vazão de cada trecho, da pressão em cada nó, da altura de água em cada reservatório de nível variado e da concentração de elementos químicos na água através da rede de distribuição” (GOMES, 2009).

O programa apresenta uma interface intuitiva, proporcionando fácil aprendizado e reconhecimento dos ícones e dispositivos. Para a execução das simulações das redes, primeiramente traçou-se o caminho destas, inseriu-se as características dos elementos constituintes do sistema, descreveu-se as condições de funcionamento do sistema, selecionou-se um conjunto de alternativas de simulações e análises, executou-se a simulação hidráulica e obteve-se os resultados destes.

A medida que os elementos do sistema foram inseridos no programa, precisou-se estabelecer configurações pré-definidas, como a fórmula de Hazen - Willians para os cálculos de perda de carga e o emprego das unidades de medida para os diâmetros das tubulações (mm), comprimentos (m), vazões (L/s), perdas de carga (m/km), pressões (m) e velocidades (m/s).

Os valores essenciais para os cálculos, como as propriedades de cada objeto, necessitam ser informados. Para os nós que são os pontos de união entre os trechos, por onde a água entra e sai, precisou-se informar os dados de cota e consumo base. Já para os trechos que são as canalizações que transportam a água entre os pontos

da rede, precisou-se inserir as propriedades de nó inicial e final, comprimentos, diâmetros e coeficiente de rugosidade, dados esses retirados da planilha de dimensionamento do Excel.

No caso dos reservatórios inseriu-se dados de cota, diâmetros e alturas de água. Esses dados foram retirados do catálogo do fabricante dos reservatórios, sendo de extrema importância o estabelecimento desses níveis de água para a garantia do abastecimento. E para as válvulas redutoras de pressão, que limitam a pressão de saída na válvula em dado ponto na rede, precisou ser inseridos os dados de nós inicial e final, parâmetro de controle e diâmetro. Já para as bombas que transferem energia para o escoamento da rede, fazendo com que ocorra o aumento de sua altura manométrica, inseriu-se dados de nós inicial e final, juntamente com a curva da bomba, que é uma relação entre vazão, apresentada no eixo das abscissas e altura manométrica, apresentada no eixo das ordenadas. A curva correta, precisa apresentar alturas manométricas decrescentes conforme o aumento da vazão. Os dados para as curvas das bombas foram retirados dos catálogos dos fabricantes.

3.9 Análise de Custo

Para as análises de custo, considerou-se como base de preço o Sistema Nacional de Pesquisa de Custo e Índices da Construção Civil (SINAPI) fornecido pela Caixa Econômica Federal, de Agosto de 2019, sem desoneração. Quanto aos demais itens, os mesmos foram cotados junto a fornecedores da região.

Combinando os métodos descritos, pretendeu-se efetuar um diagnóstico preciso da condição do sistema atual e prever a melhor solução em longo prazo em termos de concepção para o sistema de abastecimento.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Diagnóstico qualitativo da água utilizada no abastecimento

Realizar o monitoramento e diagnóstico da água é de extrema importância, visto que sua qualidade se altera conforme o tempo, podendo desse modo detectar padrões e mudanças. Diante disso, os resultados do diagnóstico qualitativo da água utilizada no sistema de abastecimento, através do histórico das análises físico-químicas dos quatro poços artesianos, desde abril de 2017 a setembro de 2019, estão apresentados abaixo, sendo avaliados cada um dos parâmetros, conforme valores permitidos pela Portaria Consolidada do Ministério da Saúde nº 5, de 28 de setembro de 2017, que determina os métodos e responsabilidades sobre o controle e vigilância da qualidade da água, juntamente com o seu padrão de potabilidade para o consumo humano.

Segundo a portaria, a frequência de amostragem para a realização do controle da qualidade da água para manancial subterrâneo é semestral para os parâmetros de Ferro, Cloretos, Dureza e Fluoretos. E mensal para a Cor Aparente, Turbidez, pH e Coliformes.

4.1.1 Diagnóstico das concentrações de Cloro Residual Livre na rede de abastecimento

Para o parâmetro Cloro Residual Livre, analisou-se o histórico de amostras de água de abril de 2017 a setembro de 2019, nos quatro poços artesianos utilizados no sistema, obtendo-se os valores conforme ilustrados nas Tabelas 4 a 7.

Tabela 4 – Valores encontrados de Cloro Residual Livre no poço número 1

CLORO RESIDUAL LIVRE				
	Valores min e máx. +	2017	2018	2019
JANEIRO	2 - 5 mg/L	*	0,94	< 0,1
FEVEIRO		*	0,45	2,50
MARÇO		*	0,72	2,50
ABRIL		1,03	1,76	2,80
MAIO		1,02	1,65	1,82
JUNHO		0,58	1,30	1,53
JULHO		2,30	2,50	4,52
AGOSTO		2,50	2,50	4,40
SETEMBRO		1,87	2,12	2,30
OUTUBRO		2,16	2,50	*
NOVEMBRO		2,20	2,13	*
DEZEMBRO		0,52	2,50	*

*Período sem execução do tratamento e não obtidos dados.

+ valores orientados pela portaria consolidadora nº 5, de 28 de setembro de 2017.

Fonte: Autora (2019).

Tabela 5 – Valores encontrados de Cloro Residual Livre no poço número 2

CLORO RESIDUAL LIVRE				
	Valores min e máx. +	2017	2018	2019
JANEIRO	2 - 5 mg/L	*	1,38	2,50
FEVEIRO		*	0,70	2,50
MARÇO		*	0,80	2,09
ABRIL		2,70	1,94	5,10
MAIO		1,56	1,42	1,81
JUNHO		0,53	2,50	1,63
JULHO		2,50	2,50	2,36
AGOSTO		1,40	2,50	5,20
SETEMBRO		2,22	2,50	3,40
OUTUBRO		2,40	2,50	*
NOVEMBRO		3,40	1,67	*
DEZEMBRO		0,76	2,50	*

*Período sem execução do tratamento e não obtidos dados.

+ valores orientados pela portaria consolidadora nº 5, de 28 de setembro de 2017.

Fonte: Autora (2019).

Tabela 6 –Valores encontrados de Cloro Residual Livre no poço número 3

CLORO RESIDUAL LIVRE				
	Valores min e máx. +	2017	2018	2019
JANEIRO	2- 5 mg/L	*	1,94	2,50
FEVEIRO		*	0,72	2,50
MARÇO		*	0,28	1,84
ABRIL		4,20	2,27	5,30
MAIO		1,12	1,64	1,64
JUNHO		1,70	2,50	1,45
JULHO		2,10	2,04	4,54
AGOSTO		2,10	2,50	3,70
SETEMBRO		1,86	2,50	3,30
OUTUBRO		2,50	2,50	*
NOVEMBRO		2,33	2,04	*
DEZEMBRO		1,32	2,50	*

*Período sem execução do tratamento e não obtidos dados.

+ valores orientados pela portaria consolidadora nº 5, de 28 de setembro de 2017.

Fonte: Autora (2019).

Tabela 7 – Valores encontrados de Cloro Residual Livre no poço número 4

CLORO RESIDUAL LIVRE				
	Valores min e máx. +	2017	2018	2019
JANEIRO	2 - 5 mg/L	*	2,31	2,50
FEVEIRO		*	1,14	2,50
MARÇO		*	1,00	2,22
ABRIL		1,96	2,07	5,10
MAIO		2,50	1,94	2,01
JUNHO		2,50	2,50	2,10
JULHO		2,50	2,50	3,14
AGOSTO		2,10	1,79	4,90
SETEMBRO		2,50	1,49	3,80
OUTUBRO		3,00	2,21	*
NOVEMBRO		4,50	2,50	*
DEZEMBRO		2,28	2,50	*

*Período sem execução do tratamento e não obtidos dados.

+ valores orientados pela portaria consolidadora nº 5, de 28 de setembro de 2017.

Fonte: Autora (2019).

Nas amostras analisadas destes poços, os valores de cloro variaram de menor que 0,10 a 4,52 mg/L para o poço número um, de 0,53 a 5,20 mg/L para o poço número dois, de 0,28 a 5,30 mg/L para o poço número três e de 1,00 a 5,10 mg/L para o poço número quatro. Constata-se que o sistema de cloração utilizado precisou de

ajustes, devido às baixas e elevadas concentrações encontradas, que afetam a potabilidade da água.

A aplicação de cloro no tratamento possui a finalidade de desinfetar, porém em elevadas concentrações pode ocasionar a recusa pelos usuários, enquanto baixas concentrações afetam a eficácia da desinfecção, juntamente com a alteração de outros parâmetros como pH e Turbidez.

No estudo realizado por Paludo (2014), nas análises dos poços artesianos do município de Santa Clara do Sul - RS, revelou-se a ausência de cloro residual livre. No trabalho sobre a avaliação das águas subterrâneas da bacia hidrográfica do Rio Pardo, os valores de cloro variaram de 0,05 a 0,07mg/L (PURPER et al., 2010), encontrando-se em baixas concentrações, prejudicando a eficácia da desinfecção.

4.1.2 Diagnóstico da concentração de Dureza na água de abastecimento

A dureza é uma propriedade constatada em águas devido a presença de concentrações de cátions de Cálcio (Ca^{2+}) e Magnésio (Mg^{2+}), possuindo como característica o impedimento de formação de espuma, o que gera consequências na saúde humana, já que minimiza a eficácia da limpeza de roupas e acessórios, juntamente com dificuldades na higiene pessoal, aumentando a ocorrência de problemas higiênicos e sanitários (BAIRD; CANN, 2011). Além de provocar incrustações nas tubulações, ocasionando a diminuição de sua vida útil e sabor desagradável à água. Essa propriedade ocorre geralmente em “regiões de formação calcária e baixa presença em terrenos arenosos e argilosos” (SANTOS, 2017).

As águas podem ser classificadas dependendo de sua concentração, em águas moles (<50 mg/L), moderadamente duras (50 a 150 mg/L), duras (150 a 300 mg/L) e muito dura (> 300 mg/L) (RICHTER, 2009).

Para este parâmetro, realiza-se coletas de amostras de água semestralmente no sistema como determina a portaria, obtendo-se os seguintes valores do histórico dos poços artesianos, conforme relata as Tabelas 8 a 11.

Tabela 8 – Valores encontrados de Dureza para o poço número 1

DUREZA				
	Valores min e máx. *	2017	2018	2019
MARÇO	500 mg/L	*	89,65	87,00
SETEMBRO		110,00	82,75	89,40

*Período sem execução do tratamento.

+ valores orientados pela portaria consolidadora nº 5, de 28 de setembro de 2017.

Fonte: Autora (2019).

Tabela 9 – Valores encontrados de Dureza para o poço número 2

DUREZA				
	Valores min e máx. *	2017	2018	2019
MARÇO	500 mg/L	*	82,92	82,50
SETEMBRO		119,00	87,05	85,90

*Período sem execução do tratamento.

+ valores orientados pela portaria consolidadora nº 5, de 28 de setembro de 2017.

Fonte: Autora (2019).

Tabela 10 – Valores encontrados de Dureza para o poço número 3

DUREZA				
	Valores min e máx. *	2017	2018	2019
MARÇO	500 mg/L	*	66,73	68,70
SETEMBRO		92,00	72,46	72,00

*Período sem execução do tratamento.

+ valores orientados pela portaria consolidadora nº 5, de 28 de setembro de 2017.

Fonte: Autora (2019).

Tabela 11 – Valores encontrados de Dureza para o poço número 4

DUREZA				
	Valores min e máx. *	2017	2018	2019
MARÇO	500 mg/L	*	45,90	42,60
SETEMBRO		68,00	47,65	49,10

*Período sem execução do tratamento.

+ valores orientados pela portaria consolidadora nº 5, de 28 de setembro de 2017.

Fonte: Autora (2019).

Nestes poços, o parâmetro manteve-se dentro dos padrões estabelecidos, com valores variando de 82,75 a 110 mg/L, apresentando valor médio de 96,38 mg/L, classificando-se como moderadamente para o poço número um, variando de 82,50 a 119 mg/L, apresentando valor médio de 100,75 mg/L, classificando-se como moderadamente dura para o poço número dois, variando de 66,73 a 92 mg/L, apresentando valor médio de 79,37 mg/L classificando-se como moderadamente dura para o poço número três e valores variando de 42,60 a 68 mg/L, apresentando valor

médio de 55,30 mg/L classificando-se também como moderadamente dura para o poço número 4.

No trabalho realizado por Schimit (2007), sobre a qualidade das águas subterrâneas na região sudoeste de Estrela, nas localidades de Arroio do Ouro, Delfina, Figueira e São Luis, esse parâmetro também apresentou-se dentro dos padrões de potabilidade. Em estudo realizado no município de Arroio do Meio – RS valores mais elevados foram obtidos para quatro poços tubulares, variando-se de 63,29 a 242,40 mg/L, com valor médio de 147,12 mg/L (STEVENS et al., 2015). Já no estudo realizado nos municípios de Jaguari, São Francisco de Assis, Santa Maria, São Sepé e Tupanciretã, na região central do estado, os valores variaram de 5,9 a 129 mg/L (CASALI, 2008), apresentando-se dentro do limite estabelecido.

Concluindo assim, que o teor de dureza das águas subterrâneas é dependente da composição de sua rocha matriz, sendo mais elevadas em águas abastecidas do Aquífero Guarani, pois apresentam baixa concentração desse elemento químico e mais elevadas nas abastecidas pelo Aquífero Fraturado da Serra Geral (SCHIMIT, 2007).

4.1.3 Diagnóstico da concentração de Fluoreto na água de abastecimento

O flúor é um fator fundamental para a redução da incidência de cárie, porém em elevadas concentrações pode provocar problemas, como a doença chamada Fluorose, que ocasiona fragilidade dos ossos (BAPTISTA; LARA, 2014). Esse parâmetro é analisado semestralmente como determina a portaria, encontrando-se os valores abaixo do limite máximo estipulado pela legislação, nos quatro poços artesianos analisados, como ilustra as Tabelas 12 a 15.

Tabela 12 – Valores encontrados de Fluoreto para o poço número 1

FLUORETO				
	Valores min e máx. *	2017	2018	2019
MARÇO	1,5 mg/L	*	< 0,1	0,12
SETEMBRO		0,2	< 0,1	< 0,2

*Período sem execução do tratamento.

+ valores orientados pela portaria consolidadora nº 5, de 28 de setembro de 2017.

Fonte: Autora (2019).

Tabela 13 – Valores encontrados de Fluoreto para o poço número 2

FLUORETO				
	Valores min e máx. *	2017	2018	2019
MARÇO	1,5 mg/L	*	< 0,1	0,23
SETEMBRO		0,143	< 0,1	0,22

*Período sem execução do tratamento.

+ valores orientados pela portaria consolidadora nº 5, de 28 de setembro de 2017.

Fonte: Autora (2019).

Tabela 14 – Valores encontrados de Fluoreto para o poço número 3

FLUORETO				
	Valores min e máx. *	2017	2018	2019
MARÇO	1,5 mg/L	*	<0,1	1,30
SETEMBRO		<0,06	<0,1	<0,2

*Período sem execução do tratamento.

+ valores orientados pela portaria consolidadora nº 5, de 28 de setembro de 2017.

Fonte: Autora (2019).

Tabela 15 – Valores encontrados de Fluoreto para o poço número 4

FLUORETO				
	Valores min e máx. *	2017	2018	2019
MARÇO	1,5 mg/L	*	<0,1	0,22
SETEMBRO		0,21	<0,1	0,41

*Período sem execução do tratamento.

+ valores orientados pela portaria consolidadora nº 5, de 28 de setembro de 2017.

Fonte: Autora (2019).

Valores semelhantes aos encontrados, foram obtidos no trabalho realizado por Casali (2008), nos municípios de Jaguari, São Francisco de Assis, Santa Maria, São Sepé e Tupanciretã, onde a concentração de flúor variou de 0,1 a 0,2 mg/L. Já no município de Santa Cruz do Sul, nos 21 poços analisados os valores variaram de 0,00 a 3,6 mg/L apresentando concentrações superiores às permitidas (MARTÍNEZ; SILVA, 2009) e na análise realizada por Schimit (2007), na região sudoeste de Estrela, a localidade de Figueira apresentou valor de 5,52 mg/L, superior ao estipulado.

No município de Santa Clara do Sul, nas análises dos poços artesianos, os valores variaram de 0,27 a 0,29 mg/L (PALUDO, 2010) apresentando valor abaixo do limite máximo estipulado pela legislação. Porém, segundo estudo de Noll e Oliveira (2000), 54 municípios do Rio Grande do Sul, apresentam valores de fluoretos superior a 0,59 mg/L, o que se deve as formações geológicas, do tipo Rosário do Sul, a fraturas

no solo, onde ocorre a infiltração de águas superficiais e contaminação industrial e agrícola.

4.1.4 Diagnóstico da concentração de Cloreto na água de abastecimento

Outro parâmetro analisado semestralmente é o cloreto, sendo que nas amostras analisadas dos poços, manteve-se dentro dos padrões de potabilidade, como ilustram as Tabelas 16 a 19.

Tabela 16 – Valores encontrados de Cloretos para o poço número 1

CLORETO				
	Valores min e máx. *	2017	2018	2019
MARÇO	250 mg/L	*	6,11	12,20
SETEMBRO		7,77	7,60	7,37

*Período sem execução do tratamento.

+ valores orientados pela portaria consolidadora nº 5, de 28 de setembro de 2017.

Fonte: Autora (2019).

Tabela 17 – Valores encontrados de Cloretos para o poço número 2

CLORETO				
	Valores min e máx. *	2017	2018	2019
MARÇO	250 mg/L	*	4,64	8,09
SETEMBRO		5,54	8,15	7,95

*Período sem execução do tratamento.

+ valores orientados pela portaria consolidadora nº 5, de 28 de setembro de 2017.

Fonte: Autora (2019).

Tabela 18 – Valores encontrados de Cloretos para o poço número 3

CLORETO				
	Valores min e máx. *	2017	2018	2019
MARÇO	250 mg/L	*	5,12	10,99
SETEMBRO		6,59	7,39	6,59

*Período sem execução do tratamento.

+ valores orientados pela portaria consolidadora nº 5, de 28 de setembro de 2017.

Fonte: Autora (2019).

Tabela 19 – Valores encontrados de Cloretos para o poço número 4

CLORETO				
	Valores min e máx. +	2017	2018	2019
MARÇO	250 mg/L	*	6,41	7,86
SETEMBRO		5,57	7,29	7,00

*Período sem execução do tratamento.

+ valores orientados pela portaria consolidadora nº 5, de 28 de setembro de 2017.

Fonte: Autora (2019).

Conforme Sperling (2005), os cloretos se estabelecem por meio da intrusão de águas salinas, pela decomposição de minerais e/ou sólidos dissolvidos, sendo que em determinadas concentrações proporcionam sabor salino a água e característica laxativa, além de ser indicativo de poluição devido a esgotos domésticos (RICHTER; NETTO, 2013).

No trabalho realizado por Schimit (2007), sobre a qualidade das águas subterrâneas na região sudoeste de Estrela, esse parâmetro também apresentou-se dentro dos padrões. Valores similares foram obtidos em poços artesianos no município de Triunfo - RS, onde avaliou-se 10 poços artesianos, e os valores variaram de 1,84 a 10,70 mg/L, com valor médio de 5,08 mg/L (KUNH et al., 2015). No município de Carlos Gomes - RS, em 3 poços artesianos, os valores variaram de 2,25 a 10,99 mg/L, com valor médio de 6,90 mg/L (SANTOS, 2017). No município do Arroio do Meio - RS, os valores de quatro poços tubulares apresentaram-se mais elevados, variando de 13,50 a 69,78 mg/L, com valor médio de 38,76 mg/L (STEVENS et al., 2015).

As águas subterrâneas normalmente apresentam elevadas concentrações de cloreto se comparadas com as superficiais, devido a obstrução física que as camadas de solo e rocha causam, que limitam a troca para os outros meios (CASALI, 2008).

4.1.5 Diagnóstico da Cor Aparente da água de abastecimento

Referente a Cor Aparente, os valores encontrados nos poços artesianos variaram de zero a 5 uH, encontrando-se dentro dos padrões estabelecidos. A cor é a característica que sinaliza a presença de substâncias e compostos, como o Ferro e outros metais, dissolvidos ou em suspensão, que proporcionam alteração da cor da

água e influenciam também na turbidez (ZUMACH, 2003). Sua determinação em uma água, possui mais caráter estético do que sanitário, visto que dependendo de sua intensidade não terá aceitação dos usuários e pode ocasionar manchas em roupas ou peças sanitárias. “A cor é sensível ao pH. A sua remoção é mais fácil a pH baixo. Ao contrário, quanto maior o pH mais intensa é a cor” (RICHTER; NETTO, 2013).

Em estudo realizado em 10 poços artesianos no município de Triunfo - RS, os valores do parâmetro cor apresentaram-se zero (KUNH et al., 2015), juntamente com os do município de Santa Clara do Sul (PALUDO, 2010), encontrando-se estes dentro dos padrões estabelecidos.

No trabalho realizado em águas subterrâneas do município de Planalto - RS, os valores variaram de 6,60 a 15 uH, valor máximo permitido pela legislação, sendo que em depoimento um dos usuários dessa água, citou que as roupas e peças sanitárias estavam normalmente amareladas (FERNANDES, 2011). Já no estudo realizado nos municípios na região central do estado, encontrou-se valores bem elevados aos permitidos pela Portaria, variando de 5,0 a 90 uH (CASALI, 2008).

Na avaliação sobre a qualidade das águas subterrâneas na região sudoeste de Estrela, nas localidades de Arroio do Ouro, Delfina, Figueira e São Luis, os parâmetros de cor, pH e turbidez mantiveram-se dentro dos padrões estabelecidos, porém sofreram alterações em períodos de chuva, pois a chuva transporta materiais que acabam infiltrando nos poços, principalmente em rasos, devido a facilidade de contaminações, pelo fato de terem pouca profundidade e revestimentos incorretos (SCHIMIT, 2007).

4.1.6 Diagnóstico do pH da água de abastecimento

“O pH (potencial hidrogeniônico) da água é a medida da atividade de íons H^+ e expressa a condição do meio, ácido ($pH < 7,0$) ou alcalino ($pH > 7,0$), sendo influenciado por uma série de fatores, de origem antropogênica ou natural” (CASALI, 2008). Valores baixos de pH alteram o sabor da água e aumentam a corrosão dos sistemas de distribuição, enquanto valores elevados aumentam as formações de incrustações nas tubulações e reduzem a eficácia da cloração na desinfecção (SPERLING, 2005). Nas amostras analisadas dos poços, esse parâmetro variou de

6,26 a 7,89 para o poço número um, de 6,60 a 7,77 para o poço número dois, de 6,45 a 7,60 para o poço número três e de 6,00 a 7,55 para o poço número quatro, estando dentro do determinado pela portaria e classificando-se como ácidas e neutras, sendo o que influencia no valor desse parâmetro é sua formação geológica, nível de contaminação e o tipo de armazenagem dessa água.

Valores semelhantes foram encontrados em poços no município de Taquari - RS, com valor médio de 7,60 (ZERWES et al. 2015). No município de Triunfo - RS, a maioria das águas classificou-se como neutro, com pH médio de 7,20 porém um poço apresentou-se com valor de 5,30 classificando-se como ácido (KUNH et al., 2015).

Nos três poços avaliados no município de Carlos Gomes - RS, os valores de pH variaram de 7,0 a 7,38, encontrando valor médio de 7,20, classificado como neutro (SANTOS, 2017) e já no estudo realizado em águas da região central do estado, os valores variaram de 4,20 a 8,30 (CASALI, 2008), estando as com valores inferiores a 6,0 abaixo do padrão de potabilidade, que podem acarretar em problemas na desinfecção por cloração.

4.1.7 Diagnóstico da concentração de Turbidez na água de abastecimento

O parâmetro Turbidez demonstra a presença de materiais e substâncias em suspensão, juntamente com a cor aparente, que ocasiona a diminuição da claridade e redução da transmissão de luz no meio. Em elevadas concentrações prejudica a qualidade estética e sanitária da água, fazendo com que bactérias e vírus se fixem nas partículas em suspensão, protegendo-se das ações desinfetantes do cloro, que são mais eficazes quanto menores os teores de turbidez na água. “A principal fonte de turbidez é a erosão dos solos, quando, na época das chuvas, as águas pluviais trazem uma quantidade significativa de material sólido para os corpos d’água”, juntamente com o lançamento de esgoto e efluente (BAPTISTA; LARA, 2014).

Nas águas subterrâneas, ocorreram problemas com esse parâmetro, quando for elevada a concentração de ferro ou dependendo da composição de sua rocha matriz. Nas amostras analisadas destes poços, os valores encontrados para Turbidez variaram de não detectado a 3,82 uT, para o poço número um, de não detectado a 4,41 uT para o poço número dois, de não detectado a 4,45 uT para o poço número

três e de não detectado a 4,11 uT para o poço número quatro, apresentando valores dentro dos padrões de potabilidade em todos os poços, determinado pela portaria.

Em quatro poços analisados em Arroio do Meio - RS, os valores de Turbidez variaram de 0,02 a 3,6 uT (STEVENS et al., 2015) e no município de Triunfo - RS os valores variaram de 0,86 a 22,40 uT, valor bem acima do permitido (KUNH et al. 2015), juntamente com os encontrados na avaliação das águas subterrâneas da bacia hidrográfica do Rio Pardo, onde variaram de 2,78 a 100,40 uT (PURPER et al., 2010) e nas águas destinadas ao consumo humano em escolas e comunidades rurais da região Central do estado, onde os valores variaram de 0,0 a 30 uT (CASALI, 2008).

No estudo realizado no município de Santa Clara do Sul - RS, os valores variaram de 0,1 a 0,7 uT (PALUDO, 2014) e no município de Carlos Gomes - RS, os valores de três poços variaram de 0,01 a 1,34 uT (SANTOS, 2017), estando dentro dos limites estabelecidos.

4.1.8 Diagnóstico da concentração de Ferro na água de abastecimento

O parâmetro Ferro encontrado em teores elevados confere à água cor intensa e sabor amargo. Nas análises destes poços, os valores variaram de nada a menor que 0,06 mg/L, apresentando-se dentro do limite de potabilidade. Encontrando-se valores similares na avaliação dos 10 poços artesianos no município de Triunfo - RS, de 0,001 a 0,045mg/L (KUNH, ZART & OLIVEIRA, 2015). Já na avaliação das águas subterrâneas da bacia hidrográfica do Rio Pardo, os valores de Ferro variaram de 0,02 a 7,10 mg/L (PURPER et al., 2010) e no estudo realizado em água subterrâneas do município de Santa Maria, em áreas ocupadas por cemitério, os valores variaram entre 0,57 a 15,96 mg/L (KEMERICH et. al, 2012), apresentando valores acima do permitido.

4.1.9 Diagnóstico da presença de coliformes na água de abastecimento

A presença de coliformes na água aponta a possibilidade de contaminação por esgotos domésticos, pois essas bactérias são oriundas dos intestinos dos mamíferos, incluindo o homem, e de organismos patogênicos. No sistema de abastecimento de

água, indica a competência do tratamento devido a eliminação dessas bactérias no final do seu processo (LOURENÇO, 2002). Nas amostras analisadas dos poços artesianos, em nenhum dos três anos, detectou-se a presença de coliformes fecais e totais, apresentando-se conforme estabelecido pela legislação.

Em estudos realizados em Arroio do Meio – RS, as amostras analisadas não detectaram a presença de coliformes totais (STEVENS et al., 2015), porém nas realizadas em Imigrante - RS, duas apresentaram a presença de coliformes totais, juntamente com as dos poços do município de Concórdia - SC (MATTHIENSEN et al., 2015), relatando desse modo um grande problema de qualidade sanitária e saúde pública.

4.1.10 Avaliação do uso de mananciais subterrâneos no sistema de abastecimento de água

Como analisado, basicamente todos os parâmetros dos poços utilizados apresentaram-se desde abril de 2017 a setembro de 2019 dentro dos valores limites estabelecidos pela Portaria, só ocorrendo alterações referente ao Cloro Residual Livre em alguns meses devido a problemas com o sistema de cloração, validando assim a escolha dos mananciais subterrâneos.

A captação de manancial subterrâneo apresenta diversas vantagens referente a redução de custos da instalação e investimentos, ocorrência próxima a comunidade abastecida, diminuição de gastos com a adutora de água bruta e a instalação do tratamento perto do poço, juntamente com as características da água bruta, por serem mais protegidos de agentes de contaminação, ser naturalmente filtrada, qualidade consistente ao longo do tempo, apresentando nenhuma ou pouca alteração sazonal e não ser submetida aos processos de assoreamento.

4.2 Diagnóstico da captação e tratamento do sistema atual

A captação de água do sistema é oriunda da exploração de poços artesianos, pelo fato de não ser encontrado nas proximidades outras fontes de captação.

Atualmente são utilizados quatro poços artesianos dos seis existentes, sendo apresentado suas localizações nas Figuras 20 e 22.

Figura 19 – Localização captação da Rede 4



Fonte: Autora, 2019.

Os poços artesianos utilizados, encontram-se em perfeitas condições de abastecimento, apresentando dispositivos e equipamentos para o controle da vazão, proteção contra pessoal não autorizado, para o impedimento da deterioração e bloqueio da captação, conforme fixado pela norma NBR 12213 (ABNT, 1992).

O tratamento de água é realizado em casas de química, como ilustra a Figura 21, instaladas próximas ao sistema de captação devido aos baixos custos, facilidade de acesso, disponibilidade energética e não ocorrência de inundações, como estabelece a NBR 12216 (ABNT, 1992). No sistema, aplica-se o tratamento simplificado com o hipoclorito de sódio, por meio de bombas dosadoras, devido ao seu custo razoável e fácil monitoramento. As bombonas condicionantes do hipoclorito de sódio são armazenadas em ambiente fechado protegido de calor e luz, pelo fato de ser um produto agressivo e enfraquecer-se com o tempo. Depois de tratadas, as águas são armazenadas nos reservatórios analisados no item 4.3.

Figura 20 – Casa de química da Rede 2



Fonte: Autora, 2019.

4.3 Diagnóstico e análise da capacidade de reservação do sistema atual

Referente a análise da reservação, obteve-se primeiramente resultados referentes a localização dos reservatórios e suas elevações, como ilustra a Figura 22, juntamente com suas classificações com relação a sua posição a rede, que são de montante, pois localizam-se antes da rede de distribuição e toda a água que abastece a rede passa por eles. Todos os reservatórios são fabricados de fibra de vidro, estando protegidos por tampas, contra inundações e pessoal não autorizado, apresentando aberturas para inspeção e extravasão, como determina a norma NBR 12217 (ABNT, 1994).

Figura 21 – Localização reservatórios



Fonte: Autora (2019).

Para a avaliação da capacidade de reserva do sistema atual, utilizou-se a Equação 6, encontrando os volumes necessários para atender as demandas de consumo, como ilustrado pela Tabela 20, utilizando para o seu cálculo de vazão, a Equação 7, levando em consideração somente o coeficiente de maior consumo (k_1).

Tabela 20 – Dados reservação atual

	Vazão (L/s)	Capacidade Atual Reservação (m³)	Volume Necessário Reservação (m³)	Elevação atual (m)
Rede 1	0,46	20	13,35	6,00
Rede 2	2,37	40	68,34	12,00
Rede 3	1,37	40	39,40	6,00
Rede 4	0,36	20	10,35	9,00

Fonte: Autora (2019).

Para este cálculo, determinou-se k_1 , específico para o presente sistema de abastecimento, como ilustra a Tabela 21, resultante do maior consumo diário no ano dividido pelo consumo médio no ano, com os valores encontrados de consumo diário dos poços e utilizou-se os dados de população atendida, sendo aproximadamente atendido nas Redes 1, 2, 3 e 4, respectivamente, 275, 720, 515 e 140 pessoas.

Tabela 21 - Determinação de k1

	Maior Consumo diário (L/dia)	Consumo médio (L/dia)	k1 encontrado
Rede 1	32.400,00	26.200,00	1,24
Rede 2	166.607,14	135.387,10	1,23
Rede 3	85.516,13	61.866,67	1,38
Rede 4	24.354,84	19.100,00	1,28

Fonte: Autora (2019).

Como constatado pelos valores obtidos de volume necessário de reservação pela Tabela 20, verifica-se que para a Rede 2 a reservação atual não se encontra correta, não possuindo a capacidade de armazenamento adequada, visto que o volume de reservação deve ser $\frac{1}{3}$ do volume distribuído. Nesse caso, estariam faltando 28,34 metros cúbicos para isso ocorrer.

A reservação correta é de extrema importância, visto que evita interrupções do abastecimento de água em caso de acidentes na rede de distribuição ou na adução, para garantir alturas manométricas constantes para as motobombas e a capacidade para atender as demandas em situações de emergências, reservas de incêndio e outras variações. A solução desse problema seria realizar a substituição dos dois reservatórios atuais de 20 metros cúbicos, por novos reservatórios de 35 metros cúbicos cada.

Como melhoria para o sistema atual, o ideal seria dividir em dois compartilhamentos com funcionalidades independentes, os reservatórios das Redes 2 e 4, que possuem apenas uma unidade de 20 metros cúbicos, para a não ocorrência de problemas quando houver a realização da limpeza dos reservatórios e consertos. Substituir então, por dois reservatórios de 10 metros cúbicos cada, pois o volume necessário de reservação encontra-se correto e com folgas.

4.4 Diagnóstico da rede de abastecimento do sistema atual

No diagnóstico das redes de distribuição, obteve-se os resultados sobre diâmetros das tubulações e extensões, como ilustra a Tabela 22, juntamente com o material empregado, que no caso, as tubulações são de PVC tipo PBA (Ponta e Bolsa com junta elástica com Anel de borracha), sendo assim, estabelecido o valor de

coeficiente de rugosidade de 130, para a realização dos cálculos de perda de carga unitária, conforme a Equação 4, por possuírem mais de 20 anos de uso.

Tabela 22 – Determinação de diâmetros e extensões das redes de distribuição

Diâmetro (mm)	Extensão (m)
25	4.899
32	5.139
40	6.545
50	1.225
60	9.913
85	80

Fonte: Autora (2019).

Os valores resultantes de vazão de distribuição para cada rede, são ilustrados na Tabela 23, sendo obtidos pela Equação 1, utilizando-se os dados de população atendida, consumos e coeficientes diários de maior consumo, conforme apresentado no item 4.2. Com base nessas informações, obteve-se também os resultados de taxas de consumo linear para cada rede.

Tabela 23 – Síntese das informações básicas para o dimensionamento

	População Atendida	Vazão (L/s)	Extensão (m)	Taxa de consumo linear (l/s/m)
Rede 1	275	0,6956	6.517	0,0001
Rede 2	720	3,5595	13.307	0,0003
Rede 3	515	2,0522	5.673	0,0004
Rede 4	140	0,5392	2.304	0,0002

Fonte: Autora, 2019.

De acordo com o dimensionamento efetuado pelo Excel, contido no Anexo C, e simulações no EPANET, verificou-se que os resultados encontrados tanto nos cálculos realizados quanto no EPANET, foram consistentes entre si e constatou-se que não foram atendidos todos os parâmetros exigidos pela norma NBR 12218 (ABNT, 1994), pois na distribuição apresentaram-se regiões com pressões dinâmicas inferiores e superiores ao limite estabelecido, juntamente com valores de velocidades inferiores ao mínimo estipulado.

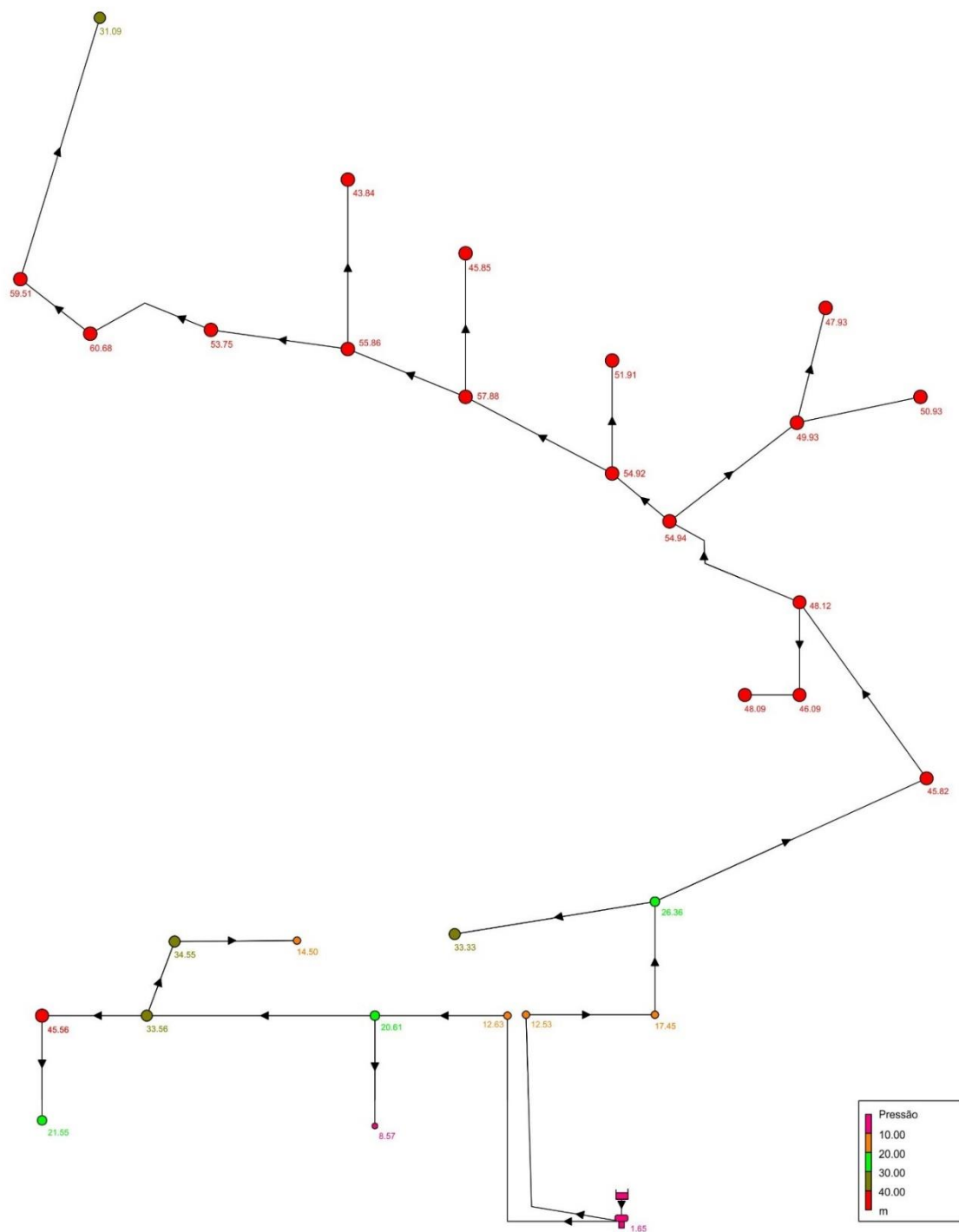
Os resultados de cargas hidráulicas e pressões nos nós da Rede 1, encontram-se expostos na Tabela 24. Nesta rede de distribuição, as pressões variam de 8,57 a 60,68 mca, como ilustrado pela Figura 23, estando em desacordo com o estipulado pela norma, ao apresentar valor inferior a 10 mca e superior a 50 mca.

Tabela 24 – Valores obtidos para os nós utilizando o EPANET na Rede 1

Identificador do Nó	Cota (m)	Consumo (L/s)	Carga Hidráulica (m)	Pressão (m)
Nó 3	71	0,01	83,63	12,63
Nó 4	63	0,02	83,61	20,61
Nó 5	75	0,02	83,57	8,57
Nó 6	50	0,07	83,56	33,56
Nó 7	49	0,00	83,55	34,55
Nó 8	69	0,04	83,50	14,50
Nó 9	38	0,01	83,56	45,56
Nó 10	62	0,02	83,55	21,55
RNV R1	82	9,43	83,65	1,65
Nó 11	71	0,01	83,53	12,53
Nó 12	66	0,01	83,45	17,45
Nó 13	57	0,01	83,36	26,36
Nó 14	50	0,04	83,33	33,33
Nó 15	37	0,08	82,82	45,82
Nó 16	34	0,07	82,12	45,12
Nó 18	34	0,00	82,09	48,09
Nó 17	36	0,03	82,09	46,09
Nó 19	27	0,03	81,94	54,94
Nó 22	31	0,00	81,93	50,93
Nó 21	34	0,01	81,93	47,93
Nó 20	32	0,02	81,93	49,93
Nó 24	27	0,00	81,92	54,92
Nó 25	30	0,01	81,91	51,91
Nó 26	24	0,02	81,88	57,88
Nó 27	36	0,02	81,85	45,85
Nó 28	26	0,01	81,86	55,86
Nó 29	38	0,02	81,84	43,84
Nó 31	28	0,03	81,75	53,75
Nó 32	21	0,01	81,68	60,68
Nó 33	22	0,01	81,51	59,51
Nó 34	50	0,05	81,09	31,09

Fonte: Autora, 2019.

Figura 22 – Simulação de pressão obtidos pelo EPANET para a Rede 1



Fonte: Autora (2019).

As pressões elevadas interferem nas operações e na qualidade do serviço do sistema, aumentam as possibilidades de perdas físicas e rupturas das tubulações, além de gerar elevados custo de bombeamento, visto que seu custo é diretamente proporcional à altura manométrica de impulsão. E não respeitando o valor mínimo estabelecido, não há garantia que a água chegue aos consumidores com cargas suficientes para vencer as perdas que ocorrem nas instalações prediais. No nó 5, onde a pressão dinâmica é inferior ao mínimo exigido pela normativa, certamente ocorre o problema de desabastecimento de água.

Os valores resultantes de velocidades e perdas de carga dos trechos desta rede, estão expostos na Tabela 25, com as velocidades variando de 0,00 a 0,18 m/s, apresentando-se todos os trechos inferiores ao limite determinado pela normativa. As velocidades inferiores a mínima exigida, afetam a movimentação de água na rede e a qualidade da água tratada transportada aos consumidores.

Tabela 25 – Valores obtidos para os trechos utilizando o EPANET na Rede 1

Identificador do Trecho	Vazão (L/S)	Velocidade (m/s)	Perda de Carga (m/km)
Tubulação 1-8	0,19	0,07	0,15
Tubulação 1-7	0,17	0,06	0,13
Tubulação 1-6	0,02	0,04	0,18
Tubulação 1-5	0,14	0,05	0,08
Tubulação 1-4	0,04	0,05	0,17
Tubulação 1-3	0,04	0,05	0,16
Tubulação 1-2	0,03	0,01	0,00
Tubulação 1-1	0,02	0,03	0,05
Tubulação 1-30	0,51	0,18	0,92
Tubulação 1-29	0,49	0,17	0,87
Tubulação 1-28	0,48	0,17	0,84
Tubulação 1-27	0,04	0,03	0,06
Tubulação 1-26	0,43	0,15	0,68
Tubulação 1-25	0,35	0,18	1,10
Tubulação 1-24	0,00	0,01	0,01
Tubulação 1-23	0,03	0,04	0,10
Tubulação 1-22	0,25	0,13	0,59
Tubulação 1-21	0,00	0,00	0,00
Tubulação 1-20	0,01	0,02	0,03

Continua

Conclusão

Identificador do Trecho	Vazão (L/S)	Velocidade (m/s)	Perda de Carga (m/km)
Tubulação 1-19	0,03	0,03	0,08
Tubulação 1-18	0,19	0,10	0,36
Tubulação 1-17	0,01	0,03	0,08
Tubulação 1-16	0,17	0,09	0,30
Tubulação 1-15	0,02	0,04	0,17
Tubulação 1-14	0,14	0,07	0,19
Tubulação 1-13	0,02	0,03	0,12
Tubulação 1-12	0,11	0,09	0,38
Tubulação 1-11	0,08	0,09	0,59
Tubulação 1-10	0,06	0,13	1,37
Tubulação 1-9	0,05	0,10	0,90

Fonte: Autora, 2019.

Referente a perda de carga, a normativa não impõe valor limite, porém na antiga norma NB 594 (ABNT, 1977) recomendava-se valor máximo de 8 m/km, para a definição do limite máximo de vazão das canalizações secundárias, segundo seu diâmetro e material. Riccaldone (2016) indica perda de carga máxima entre 8 a 10 m/km. Baseando-se nestes valores, verificou-se que nas tubulações as perdas de carga encontram-se inferiores a esses valores.

As perdas de cargas precisam ser avaliadas e averiguadas para cada situação, visto que em redes de distribuição que apresentam topografias acidentadas, não é um aspecto limitante, por existir energia suficiente. O que não ocorre em topografias planas, onde as perdas de cargas devem ser minimizadas.

Para a Rede 2, os valores resultantes de cargas hidráulicas e pressões nos nós, estão ilustrados na Tabela 26, onde os resultados de pressão variaram entre 3,85 a 51,84 mca, como exposto na Figura 24, apresentando-se também incompatível ao determinado pela normativa.

Tabela 26 – Valores obtidos para os nós utilizando o EPANET na Rede 2

Identificador do Nó	Cota (m)	Consumo (L/S)	Carga Hidráulica (m)	Pressão (m)
Nó 67	95	0,01	106,48	11,48
Nó 65	84	0,03	103,69	19,69
Nó 92	78	0,09	103,35	25,35
Nó 66	88	0,08	103,42	15,42

Continua

Continuação

Identificador do Nó	Cota (m)	Consumo (L/S)	Carga Hidráulica (m)	Pressão (m)
Nó 61	69	0,11	95,25	26,25
Nó 64	71	0,02	94,86	23,86
Nó 63	66	0,09	94,87	28,87
Nó 59	67	0,11	88,20	21,20
Nó 60	72	0,17	86,49	14,49
Nó 57	69	0,02	87,16	18,16
Nó 91	67	0,09	85,08	18,08
Nó 58	75	0,21	85,18	10,18
Nó 55	68	0,03	85,86	17,86
Nó 56	65	0,02	85,85	20,85
Nó 43	66	0,01	85,57	19,57
Nó 54	65	0,02	85,56	20,56
Nó 23	62	0,02	84,90	22,90
Nó 105	62	0,22	73,21	11,21
Nó 30	73	0,17	76,85	3,85
Nó 1	49	0,06	83,57	34,57
Nó 2	49	0,07	83,09	34,09
Nó 48	57	0,12	81,42	24,42
Nó 71	42	0,03	80,83	38,83
Nó 70	42	0,07	80,68	38,68
Nó 69	41	0,01	80,84	39,84
Nó 53	62	0,07	80,84	18,84
Nó 52	51	0,07	80,84	29,84
Nó 51	39	0,11	80,87	41,87
Nó 50	37	0,02	81,05	44,05
Nó 49	44	0,11	81,09	37,09
Nó 46	57	0,05	81,14	24,14
Nó 47	56	0,03	81,08	25,08
Nó 42	56	0,02	81,05	25,05
Nó 45	55	0,11	79,19	24,19
Nó 44	66	0,08	80,70	14,70
Nó 40	62	0,04	80,97	18,97
Nó 68	51	0,10	78,22	27,22
Nó 41	74	0,06	79,35	5,35
Nó 38	60	0,02	80,97	20,97
Nó 39	74	0,06	80,93	6,93
Nó 36	59	0,01	80,97	21,97
Nó 37	66	0,02	80,96	14,96

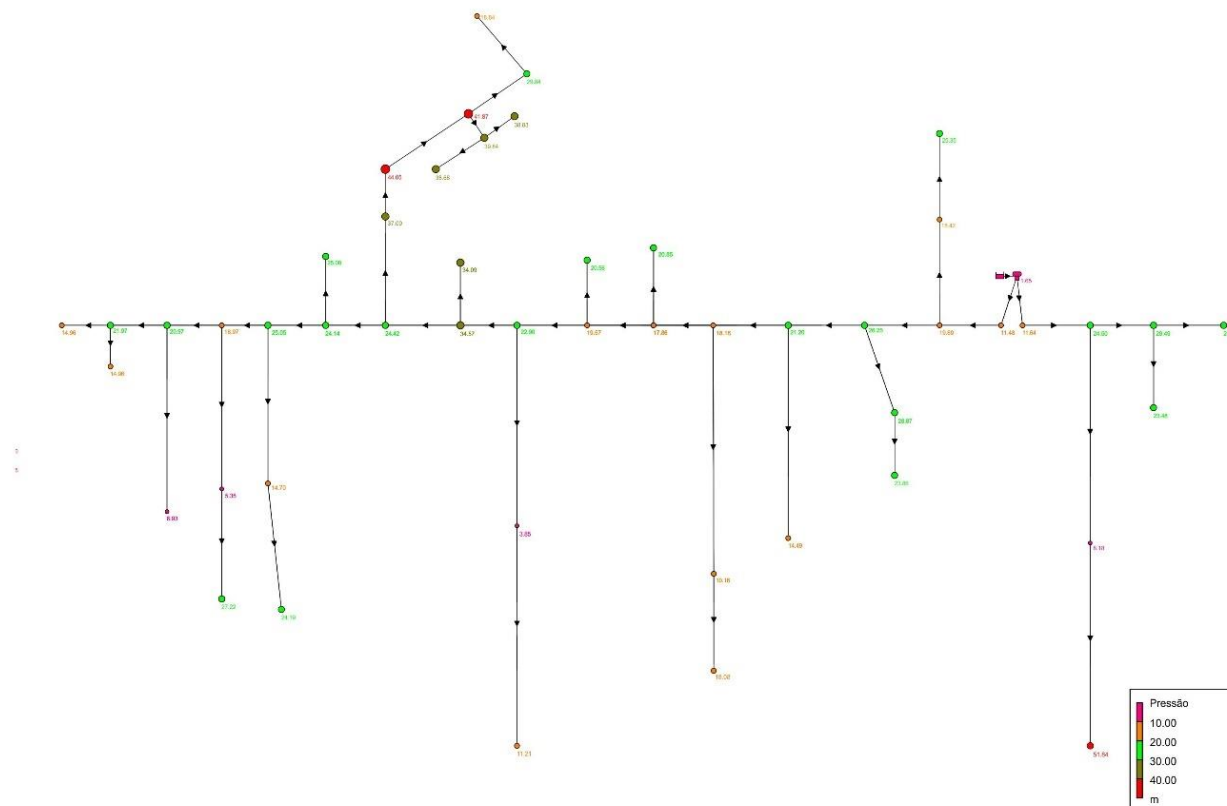
Continua

Conclusão

Identificador do Nó	Cota (m)	Consumo (L/S)	Carga Hidráulica (m)	Pressão (m)
Nó 35	66	0,04	80,96	14,96
RNV R2	105	19,39	106,65	1,65
Nó 72	95	0,01	106,64	11,64
Nó 73	82	0,03	106,5	24,50
Nó 101	48	0,23	99,84	51,84
Nó 74	93	0,24	101,18	8,15
Nó 75	77	0,05	106,49	29,49
Nó 76	83	0,04	106,48	23,48
Nó 77	86	0,04	106,49	20,49

Fonte: Autora, 2019.

Figura 23 – Simulação de pressão obtidos pelo EPANET para a Rede 2



Fonte: Autora (2019).

Os valores resultantes de velocidades e perdas de carga dos trechos desta rede, estão expostos na Tabela 27 , com as velocidades variando de 0,01 a 1,03 m/s, apresentando somente sete trechos que atendem a imposição da normativa e verificou-se que com a exceção das Tubulações 2-38, 2-36, 2-33, 2-31, 2-29 e 2-24 as perdas de carga encontram-se inferiores a 10 m/km.

Tabela 27 – Valores obtidos nos trechos utilizando o EPANET na Rede 2

Identificador do Trecho	Vazão (L/S)	Velocidade (m/s)	Perda de Carga (m/km)
Tubulação 2-39	2,91	0,51	4,29
Tubulação 2-38	2,90	1,03	23,23
Tubulação 2-37,1	0,09	0,07	0,25
Tubulação 2-37	0,17	0,13	0,86
Tubulação 2-36	2,70	0,96	20,34
Tubulação 2-35	0,02	0,04	0,14
Tubulação 2-34	0,11	0,13	1,12
Tubulação 2-33	2,48	0,88	17,39
Tubulação 2-32	0,17	0,21	2,66
Tubulação 2-31	2,20	0,78	13,93
Tubulação 2-30,1	0,09	0,07	0,29
Tubulação 2-30	0,30	0,24	2,53
Tubulação 2-29	1,88	0,67	10,39
Tubulação 2-28	0,02	0,04	0,19
Tubulação 2-27	1,83	0,65	9,84
Tubulação 2-26	0,02	0,04	0,14
Tubulação 2-25	1,80	0,64	9,57
Tubulação 2-24,1	0,22	0,28	4,34
Tubulação 2-24	0,40	0,49	12,47
Tubulação 2-23	1,38	0,49	5,88
Tubulação 2-22	0,07	0,15	1,76
Tubulação 2-21	1,25	0,44	4,88
Tubulação 2-20	0,07	0,09	0,57
Tubulação 2-19	0,03	0,03	0,09
Tubulação 2-18	0,11	0,14	1,13
Tubulação 2-17	0,07	0,03	0,03
Tubulação 2-16	0,14	0,05	0,09
Tubulação 2-15	0,35	0,13	0,47
Tubulação 2-14	0,37	0,13	0,52
Tubulação 2-13	0,48	0,17	0,83
Tubulação 2-12	0,65	0,23	1,46
Tubulação 2-11	0,03	0,07	0,42
Tubulação 2-10	0,57	0,20	1,13

Continua

Conclusão

Identificador do Trecho	Vazão (L/S)	Velocidade (m/s)	Perda de Carga (m/km)
Tubulação 2-9	0,11	0,22	3,74
Tubulação 2-8	0,19	0,15	1,10
Tubulação 2-7	0,35	0,12	0,47
Tubulação 2-6,1	0,10	0,20	3,08
Tubulação 2-6	0,16	0,32	7,39
Tubulação 2-5	0,15	0,05	0,10
Tubulação 2-4	0,06	0,05	0,14
Tubulação 2-3	0,07	0,03	0,03
Tubulação 2-2	0,02	0,04	0,14
Tubulação 2-1	0,04	0,02	0,01
Tubulação 2-45	0,64	0,11	0,26
Tubulação 2-44	0,63	0,22	1,39
Tubulação 2-43,1	0,23	0,18	1,55
Tubulação 2-43	0,47	0,38	5,85
Tubulação 2-42	0,13	0,05	0,08
Tubulação 2-41	0,04	0,02	0,01
Tubulação 2-40	0,04	0,01	0,01

Fonte: Autora, 2019.

Para a Rede 3, os valores resultantes de cargas hidráulicas e pressões nos nós, estão ilustrados na Tabela 28, com as pressões variando de 3,57 a 46,07 mca, como exposto na Figura 25, não respeitando o valor determinado pela norma e não garantindo que a água chegue aos consumidores com cargas suficientes no Nó 88.

Tabela 28 – Valores obtidos nos trechos utilizando o EPANET na Rede 3

Identificador do Nó	Cota (m)	Consumo (L/S)	Carga Hidráulica (m)	Pressão (m)
Nó 88	110	0,01	113,57	3,57
Nó 90	65	0,04	107,83	42,83
Nó 89	66	0,27	107,89	41,89
Nó 82	103	0,06	113,31	10,31
Nó 84	69	0,27	98,52	29,52
Nó 79	106	0,06	113,23	7,23
Nó 81	103	0,07	112,62	9,62
Nó 80	105	0,06	112,98	7,98
Nó 87	86	0,08	113,20	27,20
Nó 78	93	0,09	112,61	19,61
RNV R3	112	8,08	113,65	1,65

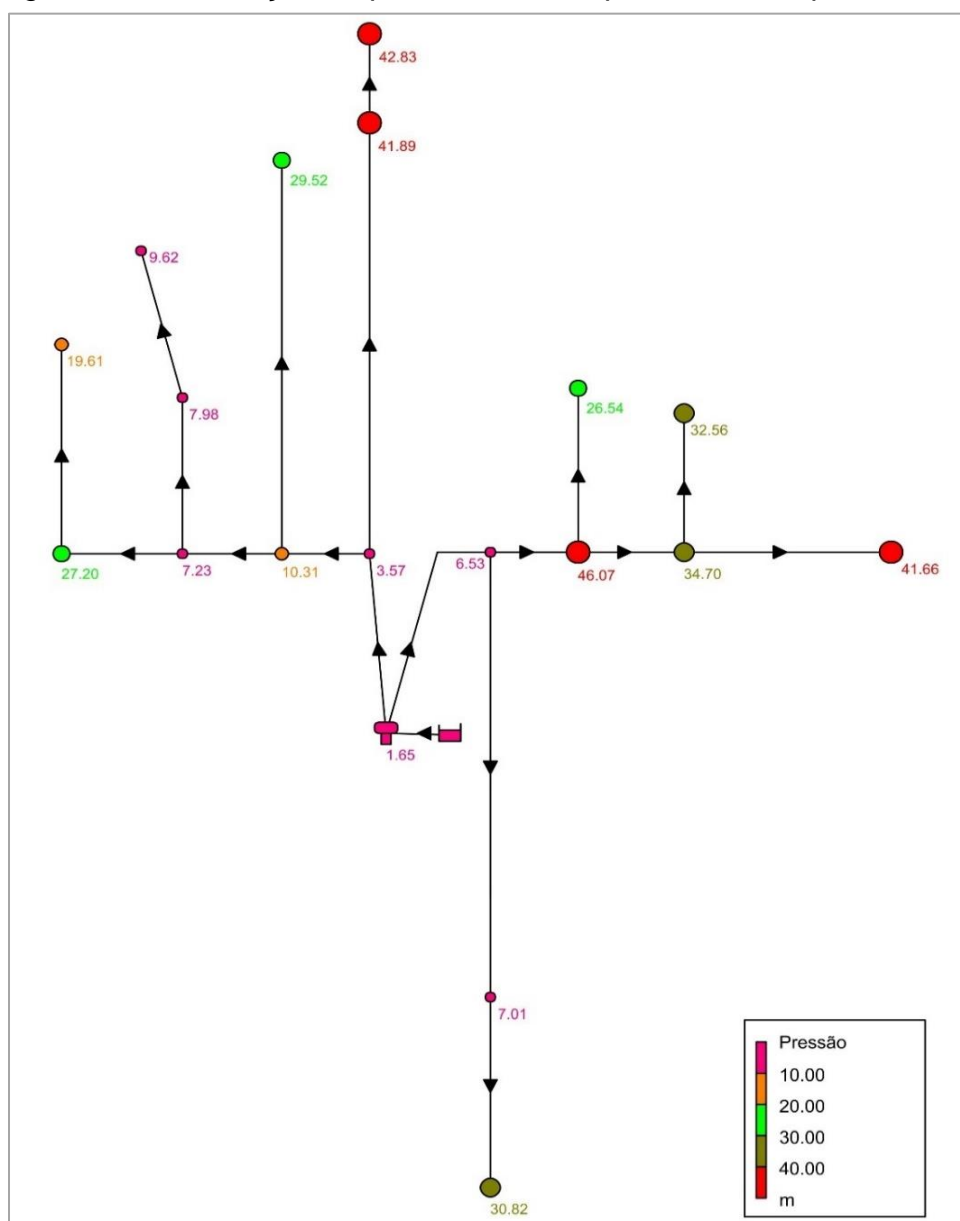
Continua

Conclusão

Identificador do Nó	Cota (m)	Consumo (L/S)	Carga Hidráulica (m)	Pressão (m)
Nó 93	107	0,01	113,53	6,53
Nó 104	79	0,13	109,82	30,82
Nó 83	103	0,28	110,01	7,01
Nó 85	67	0,12	113,07	46,07
Nó 86	86	0,08	112,54	26,54
Nó 94	78	0,21	112,70	34,70
Nó 95	80	0,08	112,56	32,56
Nó 96	71	0,14	112,66	41,66

Fonte: Autora, 2019.

Figura 24 – Simulação de pressão obtidos pelo EPANET para a Rede 3



Fonte: Autora (2019).

Os valores resultantes de velocidades e perdas de carga dos trechos desta rede, estão expostos na Tabela 29, com as velocidades variando de 0,05 a 0,55 m/s, apresentando todos os trechos com valores inferiores ao estabelecidos, afetando a movimentação de água. Com exceção da Tubulação 3-6, às perdas de cargas encontram-se inferiores aos valores recomendados.

Tabela 29 – Valores obtidos nos trechos utilizando o EPANET na Rede 3

Identificador do Trecho	Vazão (L/S)	Velocidade (m/s)	Perda de Carga (m/km)
Tubulação 3-10	1,00	0,35	3,22
Tubulação 3-9	0,04	0,08	0,54
Tubulação 3-8	0,31	0,38	7,68
Tubulação 3-7	0,68	0,24	1,60
Tubulação 3-6	0,27	0,55	19,98
Tubulação 3-5	0,36	0,13	0,48
Tubulação 3-4	0,07	0,15	1,77
Tubulação 3-3	0,13	0,16	1,58
Tubulação 3-2	0,17	0,06	0,12
Tubulação 3-1	0,09	0,18	2,48
Tubulação 3-17	1,05	0,37	3,55
Tubulação 3-16.1	0,13	0,10	0,53
Tubulação 3-16	0,41	0,33	4,51
Tubulação 3-15	0,63	0,22	1,36
Tubulação 3-14	0,08	0,17	2,29
Tubulação 3-13	0,42	0,15	0,66
Tubulação 3-12	0,08	0,10	0,61
Tubulação 3-11	0,14	0,05	0,08

Fonte: Autora, 2019.

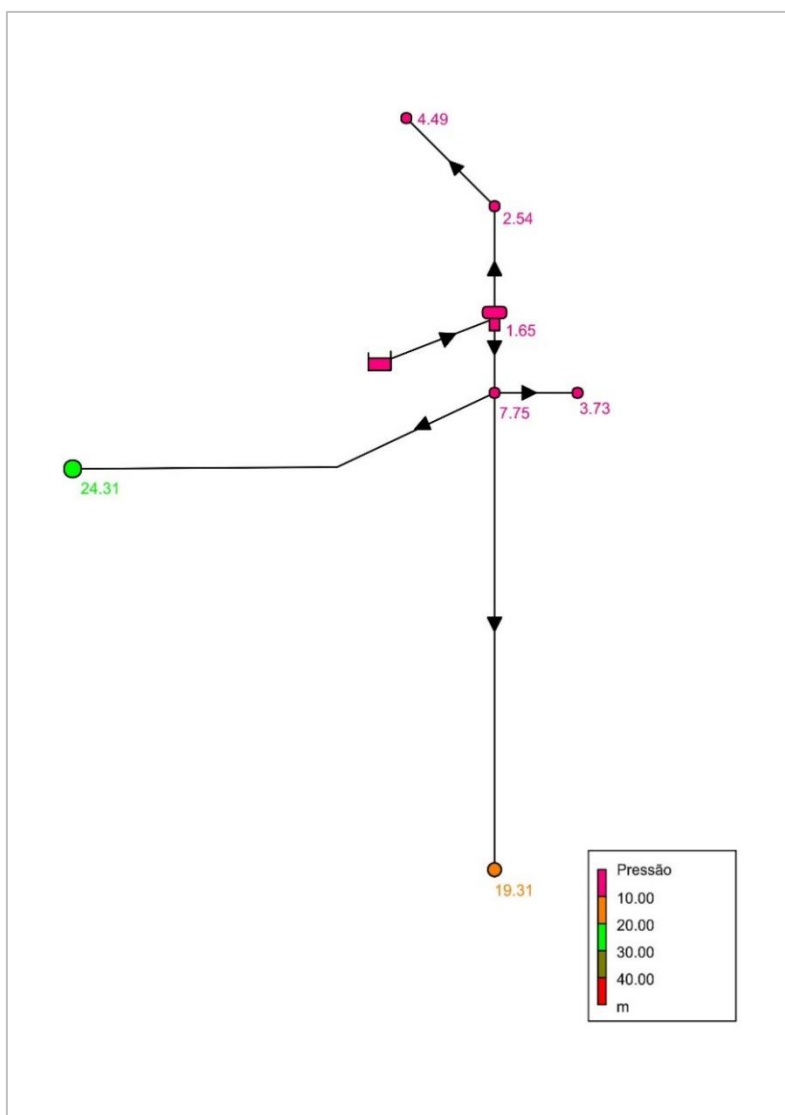
Para a Rede 4, os valores resultantes de cargas hidráulicas e pressões nos nós, estão ilustrados na Tabela 30, onde os valores de pressão variaram de 2,65 a 25,12 mca, como exposto na Figura 26, não atendendo também o valor mínimo determinado pela normativa, não garantindo que a água chegue aos consumidores com cargas suficientes, com exceção dos nós 97 e 100, além de possuir os menores valores de pressão se comparada com as demais redes.

Tabela 30 – Valores obtidos nos nós utilizando o EPANET na Rede 4

Identificador do Nó	Cota (m)	Consumo (L/S)	Carga Hidráulica (m)	Pressão (m)
Nó 102	94	0,02	96,54	2,54
Nó 103	92	0,03	96,49	4,49
RNV R4	95	1,42	96,65	1,65
Nó 98	88	0,01	95,75	7,75
Nó 99	92	0,02	95,73	3,73
Nó 100	76	0,15	95,31	19,31
Nó 97	71	0,30	95,31	24,31

Fonte: Autora, 2019.

Figura 25 – Simulação de pressão obtidos pelo EPANET para a Rede 4



Fonte: Autora (2019).

E os valores resultantes de velocidades e perdas de carga dos trechos da Rede 4, estão expostos na Tabela 31, com as velocidades variando de 0,06 a 0,60 m/s,

apresentando valores inferiores ao estabelecidos, afetando a movimentação de água desta rede, com exceção da Tubulação 4-4, que também apresenta valor de perda de carga superior ao recomendado.

Tabela 31 – Valores obtidos nos trechos utilizando o EPANET na Rede 4

Identificador do Trecho	Vazão (L/S)	Velocidade (m/s)	Perda de Carga (m/km)
Tubulação 4-6	0,05	0,11	1,07
Tubulação 4-5	0,03	0,06	0,36
Tubulação 4-4	0,48	0,6	17,99
Tubulação 4-3	0,02	0,05	0,23
Tubulação 4-2	0,15	0,12	0,69
Tubulação 4-1	0,30	0,11	0,34

Fonte: Autora, 2019.

Valores semelhantes às pressões analisadas neste estudo, foram encontradas no trabalho realizado por Costa (2014), no abastecimento de água no município de Cotia, em São Paulo, onde os valores variaram de 10 a 40 mca, enquanto as perdas de carga variaram de 0,00 a 684,98 m/km, superior ao recomendado. Na análise efetuada por Avila (2007), sobre as variações de pressões na rede de abastecimento da cidade de Itatiba em São Paulo, os valores de pressões medidos apresentaram-se superiores a 50 mca em todos os dias da semana e em nenhum obteve-se o valor mínimo de 10 mca. No estudo realizado por Silva (2014), no sistema de abastecimento de água localizado no distrito de Juatana, pertencente ao município de Quixadá no Ceará, os valores variaram de 35 a 60 mca e no trabalho realizado por Teles (2008), no sistema de abastecimento de água São Cristovão, encontrou-se pontos com pressões dinâmicas variando de -2,73 a 44,38 mca, caracterizando regiões com problemas de desabastecimento.

Após avaliação dos resultados encontrados, concluiu-se que os trechos e nós das redes de distribuição apresentam problemas de velocidades e pressões, destacando-se a Rede 1 ao possuir os valores mais elevados de pressões se comparada com as demais e a Rede 4 por possuir valores bem inferiores aos exigidos pela normativa para o parâmetro de pressão, juntamente com o de velocidade, gerando problemas de abastecimento de água aos consumidores, sendo de extrema importância solucioná-los.

4.5 Dimensionamento de alternativas para solução dos problemas na rede de abastecimento

Como os valores de pressões e velocidades não se encontram dentro dos limites exigidos pela norma NBR 12218 (ABNT, 1994) para as redes de distribuição, estudou-se alternativas viáveis diagnosticadas por meio das simulações do programa EPANET, para regularizar as pressões e o abastecimento de água.

4.5.1 Primeira Alternativa para adequação da rede – Substituição tubulação

A primeira alternativa para otimizar o sistema, possui como proposta a realização da substituição das tubulações do sistema atual, nas quatro redes de distribuição, para os diâmetros corretos analisados conforme a Tabela 2, chegando-se aos resultados ilustrados no Anexo 03, utilizando-se o coeficiente de rugosidade para o PVC novo de 140. Substituiu-se os diâmetros atuais de 25, 32 e 40 mm para o de 50 mm que é o mínimo estabelecido pela norma, e os demais para os de 75 e 100 mm, resultando nas seguintes extensões de cada, como ilustra a Tabela 32.

Tabela 32 – Novos diâmetros e suas extensões

Diâmetro (mm)	Extensão (m)
50	16.583
75	965
100	1.120

Fonte: Autora, 2019.

No entanto, ao realizar a simulação da substituição dos diâmetros para a Rede 1, não ocorreram alterações significativas nas pressões, como exemplificam a Tabela 33 e o Gráfico 1.

Tabela 33 – Valores obtidos nos nós utilizando o EPANET na Rede 1 para a primeira alternativa

Identificador do Nó	Cota (m)	Consumo (L/S)	Carga Hidráulica (m)	Pressão (m)
Nó 3	71	0,01	83,63	12,63
Nó 4	63	0,02	83,61	20,61
Nó 5	75	0,02	83,61	8,61
Nó 6	50	0,07	83,56	33,56
Nó 7	49	0,00	83,56	34,56

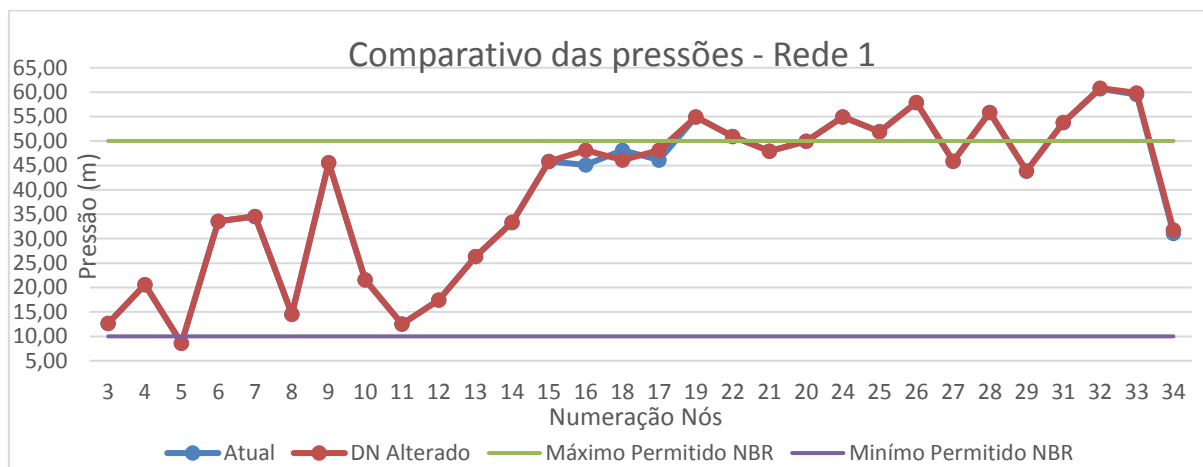
Continua

Conclusão

Identificador do Nó	Cota (m)	Consumo (L/S)	Carga Hidráulica (m)	Pressão (m)
Nó 7	49	0,00	83,56	34,56
Nó 8	69	0,04	83,55	14,55
Nó 9	38	0,01	83,56	45,56
Nó 10	62	0,02	83,56	21,56
RNV R1	82	9,43	83,65	1,65
Nó 11	71	0,01	83,53	12,53
Nó 12	66	0,01	83,45	17,45
Nó 13	57	0,01	83,36	26,36
Nó 14	50	0,04	83,35	33,35
Nó 15	37	0,08	82,82	45,82
Nó 16	34	0,07	82,12	48,12
Nó 18	34	0,00	82,11	46,11
Nó 17	36	0,03	82,11	48,11
Nó 19	27	0,03	81,94	54,94
Nó 22	31	0,00	81,94	50,94
Nó 21	34	0,01	81,94	47,94
Nó 20	32	0,02	81,94	49,94
Nó 24	27	0,00	81,92	54,92
Nó 25	30	0,01	81,92	51,92
Nó 26	24	0,02	81,88	57,88
Nó 27	36	0,02	81,88	45,88
Nó 28	26	0,01	81,86	55,86
Nó 29	38	0,02	81,86	43,86
Nó 31	28	0,03	81,83	53,83
Nó 32	21	0,01	81,82	60,82
Nó 33	22	0,01	81,82	59,82
Nó 34	50	0,05	81,81	31,81

Fonte: Autora (2019).

Gráfico 1 – Valores de pressão obtidos para os nós utilizando o EPANET na Rede 1 para a primeira alternativa



Fonte: Autora (2019).

Constatou-se também, que houve a diminuição das perdas de carga e das velocidades nos trechos, que anteriormente já não se apresentavam adequadas, como ilustra a Tabela 34, justificado devido ao maior diâmetro, que ocasiona menores velocidades e perdas de cargas.

Tabela 34 - Valores obtidos nos trechos utilizando o EPANET na Rede 1 para a primeira alternativa

Identificador do Trecho	Vazão (L/S)	Velocidade (m/s)	Perda de Carga (m/km)
Tubulação 1-8	0,19	0,07	0,15
Tubulação 1-7	0,17	0,06	0,13
Tubulação 1-6	0,02	0,01	0,01
Tubulação 1-5	0,14	0,05	0,08
Tubulação 1-4	0,04	0,02	0,02
Tubulação 1-3	0,04	0,02	0,02
Tubulação 1-2	0,03	0,01	0,00
Tubulação 1-1	0,02	0,01	0,01
Tubulação 1-30	0,51	0,18	0,92
Tubulação 1-29	0,49	0,17	0,87
Tubulação 1-28	0,48	0,17	0,84
Tubulação 1-27	0,04	0,02	0,02
Tubulação 1-26	0,43	0,15	0,68
Tubulação 1-25	0,35	0,18	1,10
Tubulação 1-24	0,00	0,00	0,00
Tubulação 1-23	0,03	0,02	0,01
Tubulação 1-22	0,25	0,13	0,59

Continua

Conclusão

Identificador do Trecho	Vazão (L/S)	Velocidade (m/s)	Perda de Carga (m/km)
Tubulação 1-21	0,00	0,00	0,00
Tubulação 1-20	0,01	0,00	0,00
Tubulação 1-19	0,03	0,01	0,01
Tubulação 1-18	0,19	0,1	0,36
Tubulação 1-17	0,01	0,01	0,00
Tubulação 1-16	0,17	0,09	0,3
Tubulação 1-15	0,02	0,01	0,01
Tubulação 1-14	0,14	0,07	0,19
Tubulação 1-13	0,02	0,01	0,00
Tubulação 1-12	0,11	0,05	0,11
Tubulação 1-11	0,08	0,04	0,06
Tubulação 1-10	0,06	0,03	0,04
Tubulação 1-9	0,05	0,03	0,03

Fonte: Autora (2019).

Na simulação da Rede 2, para as substituições das tubulações, os valores de pressões apresentaram variações significativas, como exemplifica a Tabela 35 e os Gráficos 2 e 3.

Tabela 35 –Valores obtidos nos nós utilizando o EPANET na Rede 2 para a primeira alternativa

Identificador do Nó	Cota (m)	Consumo (L/S)	Carga Hidráulica (m)	Pressão (m)
Nó 67	95	0,01	106,58	11,58
Nó 65	84	0,03	106,38	22,38
Nó 92	78	0,09	106,28	28,28
Nó 66	88	0,08	106,30	18,30
Nó 61	69	0,11	105,77	36,77
Nó 64	71	0,02	105,73	34,73
Nó 63	66	0,09	105,73	39,73
Nó 59	67	0,11	105,26	38,26
Nó 60	72	0,17	105,09	33,09
Nó 57	69	0,02	104,95	35,95
Nó 91	67	0,09	104,34	37,34
Nó 58	75	0,21	104,37	29,37
Nó 55	68	0,03	104,57	36,57
Nó 56	65	0,02	104,57	39,57
Nó 43	66	0,01	104,48	38,48
Nó 54	65	0,02	104,48	39,48

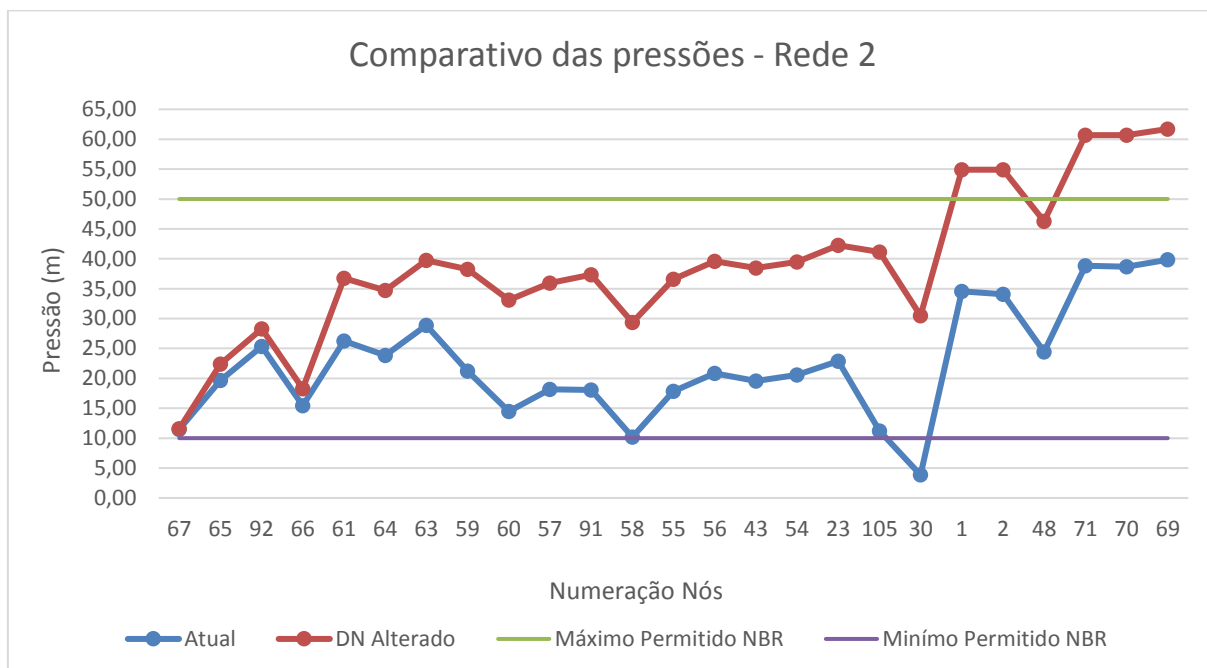
Continua

Conclusão

Identificador do Nó	Cota (m)	Consumo (L/S)	Carga Hidráulica (m)	Pressão (m)
Nó 23	62	0,02	104,29	42,29
Nó 105	62	0,22	103,13	41,13
Nó 30	73	0,17	103,49	30,49
Nó 1	49	0,06	103,9	54,90
Nó 2	49	0,07	103,88	54,88
Nó 48	57	0,12	103,27	46,27
Nó 71	42	0,03	102,7	60,70
Nó 70	42	0,07	102,69	60,69
Nó 69	41	0,01	102,71	61,71
Nó 53	62	0,07	102,68	40,68
Nó 52	51	0,07	102,69	51,69
Nó 51	39	0,11	102,71	63,71
Nó 50	37	0,02	102,9	65,9
Nó 49	44	0,11	102,93	58,93
Nó 46	57	0,05	102,98	45,98
Nó 47	56	0,03	102,98	46,98
Nó 42	56	0,02	102,89	46,89
Nó 45	55	0,11	102,74	47,74
Nó 44	66	0,08	102,79	36,79
Nó 40	62	0,04	102,82	40,82
Nó 68	51	0,10	102,73	51,73
Nó 41	74	0,06	102,77	28,77
Nó 38	60	0,02	102,81	42,81
Nó 39	74	0,06	102,80	28,80
Nó 36	59	0,01	102,81	43,81
Nó 37	66	0,02	102,81	36,81
Nó 35	66	0,04	102,81	36,81
RNV R2	105	19,39	106,65	1,65
Nó 72	95	0,01	106,65	11,65
Nó 73	82	0,03	106,64	24,64
Nó 101	48	0,23	104,68	56,68
Nó 74	93	0,24	105,07	12,07
Nó 75	77	0,05	106,62	29,62
Nó 76	83	0,04	106,62	23,62
Nó 77	86	0,04	106,62	20,62

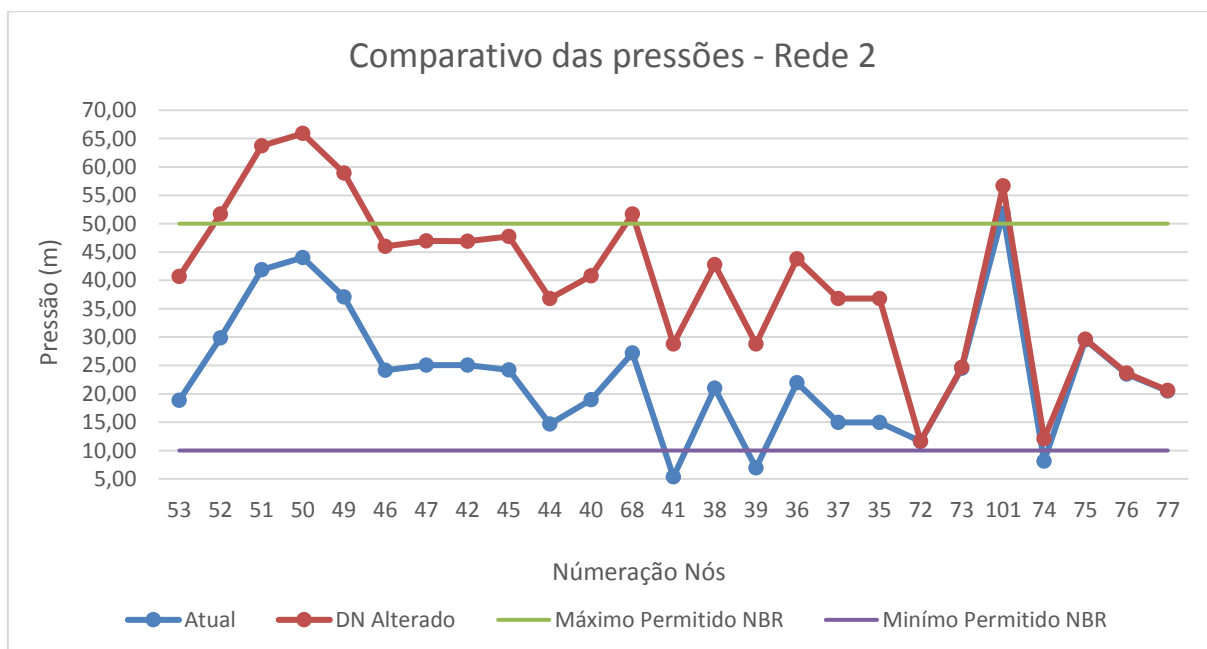
Fonte: Autora (2019).

Gráfico 2 – Valores de pressão obtidos para os nós utilizando o EPANET na Rede 2 para a primeira alternativa – parte 01



Fonte: Autora (2019).

Gráfico 3 – Valores de pressão obtidos para os nós utilizando o EPANET na Rede 2 para a primeira alternativa – parte 02



Fonte: Autora (2019).

E novamente observou-se que houve a diminuição das perdas de carga e das velocidades nos trechos, que anteriormente já não se apresentavam apropriadas, conforme esclarece a Tabela 36.

Tabela 36 – Valores obtidos nos trechos utilizando o EPANET na Rede 2 para a primeira alternativa

Identificador do Trecho	Vazão (L/S)	Velocidade (m/s)	Perda de Carga (m/km)
Tubulação 2-39	2,91	0,37	1,69
Tubulação 2-38	2,90	0,37	1,68
Tubulação 2-37.1	0,09	0,04	0,07
Tubulação 2-37	0,17	0,09	0,25
Tubulação 2-36	2,70	0,34	1,47
Tubulação 2-35	0,02	0,01	0,00
Tubulação 2-34	0,11	0,06	0,11
Tubulação 2-33	2,48	0,32	1,26
Tubulação 2-32	0,17	0,09	0,26
Tubulação 2-31	2,20	0,50	4,09
Tubulação 2-30.1	0,09	0,05	0,09
Tubulação 2-30	0,30	0,15	0,75
Tubulação 2-29	1,88	0,43	3,06
Tubulação 2-28	0,02	0,01	0,01
Tubulação 2-27	1,83	0,41	2,89
Tubulação 2-26	0,02	0,01	0,00
Tubulação 2-25	1,80	0,14	2,81
Tubulação 2-24.1	0,22	0,11	0,43
Tubulação 2-24	0,40	0,20	1,24
Tubulação 2-23	1,38	0,31	1,73
Tubulação 2-22	0,07	0,04	0,05
Tubulação 2-21	1,25	0,28	1,44
Tubulação 2-20	0,07	0,04	0,06
Tubulação 2-19	0,03	0,01	0,01
Tubulação 2-18	0,11	0,06	0,11
Tubulação 2-17	0,07	0,03	0,03
Tubulação 2-16	0,14	0,05	0,09
Tubulação 2-15	0,35	0,13	0,47
Tubulação 2-14	0,37	0,13	0,52
Tubulação 2-13	0,48	0,17	0,83
Tubulação 2-12	0,65	0,23	1,46
Tubulação 2-11	0,03	0,02	0,01
Tubulação 2-10	0,57	0,20	1,13
Tubulação 2-9	0,11	0,06	0,11
Tubulação 2-8	0,19	0,10	0,32

Continua

Conclusão

Identificador do Trecho	Vazão (L/S)	Velocidade (m/s)	Perda de Carga (m/km)
Tubulação 2-7	0,35	0,12	0,47
Tubulação 2-6.1	0,10	0,05	0,09
Tubulação 2-6	0,16	0,08	0,22
Tubulação 2-5	0,15	0,05	0,10
Tubulação 2-4	0,06	0,03	0,04
Tubulação 2-3	0,07	0,03	0,03
Tubulação 2-2	0,02	0,01	0,00
Tubulação 2-1	0,04	0,02	0,01
Tubulação 2-45	0,64	0,08	0,10
Tubulação 2-44	0,63	0,08	0,10
Tubulação 2-43.1	0,23	0,12	0,45
Tubulação 2-43	0,47	0,24	1,72
Tubulação 2-42	0,13	0,05	0,08
Tubulação 2-41	0,04	0,02	0,01
Tubulação 2-40	0,04	0,01	0,01

Fonte: Autora (2019).

Para a simulação da Rede 3, não encontrou-se diferentes resultados dos analisados anteriormente, visto que os valores de pressões não apresentaram alterações relevantes, como expõe a Tabela 37 e o Gráfico 4.

Tabela 37 – Valores obtidos nos nós utilizando o EPANET na Rede 3 para a primeira alternativa

Identificador do Nó	Cota (m)	Consumo (L/S)	Carga Hidráulica (m)	Pressão (m)
Nó 88	110	0,01	113,57	3,57
Nó 90	65	0,04	113,00	48,00
Nó 89	66	0,27	113,00	47,00
Nó 82	103	0,06	113,31	10,31
Nó 84	69	0,27	112,87	43,87
Nó 79	106	0,06	113,23	7,23
Nó 81	103	0,07	113,19	10,19
Nó 80	105	0,06	113,21	8,21
Nó 87	86	0,08	113,20	27,20
Nó 78	93	0,09	113,18	20,18
RNV R3	112	8,08	113,65	1,65
Nó 93	107	0,01	113,53	6,53
Nó 104	79	0,13	112,44	33,44

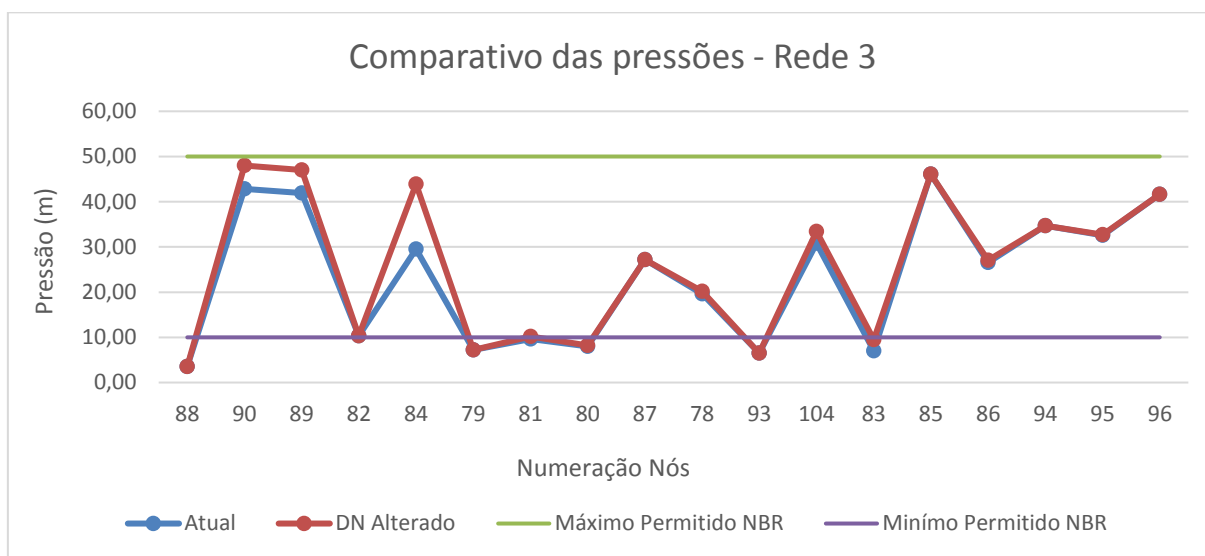
Continua

Conclusão

Identificador do Nó	Cota (m)	Consumo (L/S)	Carga Hidráulica (m)	Pressão (m)
Nó 83	103	0,28	112,49	9,49
Nó 85	67	0,12	113,07	46,07
Nó 86	86	0,08	113,05	27,05
Nó 94	78	0,21	112,7	34,7
Nó 95	80	0,08	112,68	32,68
Nó 96	71	0,14	112,66	41,66

Fonte: Autora (2019).

Gráfico 4 - Valores de pressão obtidos para os nós utilizando o EPANET na Rede 3 para a primeira alternativa



Fonte: Autora (2019).

Os valores de velocidades e perdas de cargas nos trechos desta rede, sofreram também diminuições, como ilustra a Tabela 38.

Tabela 38 – Valores obtidos nos trechos utilizando o EPANET na Rede 3 para a primeira alternativa

Identificador do Trecho	Vazão (L/S)	Velocidade (m/s)	Perda de Carga (m/km)
Tubulação 3-10	1,00	0,35	3,22
Tubulação 3-9	0,04	0,02	0,02
Tubulação 3-8	0,31	0,16	0,76
Tubulação 3-7	0,68	0,24	1,60
Tubulação 3-6	0,27	0,14	0,60
Tubulação 3-5	0,36	0,13	0,48
Tubulação 3-4	0,07	0,04	0,05

Continua

Conclusão

Identificador do Trecho	Vazão (L/S)	Velocidade (m/s)	Perda de Carga (m/km)
Tubulação 3-3	0,13	0,07	0,16
Tubulação 3-2	0,17	0,06	0,12
Tubulação 3-1	0,09	0,04	0,07
Tubulação 3-17	1,05	0,37	3,55
Tubulação 3-16.1	0,13	0,07	0,16
Tubulação 3-16	0,41	0,21	1,33
Tubulação 3-15	0,63	0,22	1,36
Tubulação 3-14	0,08	0,04	0,07
Tubulação 3-13	0,42	0,15	0,66
Tubulação 3-12	0,08	0,04	0,06
Tubulação 3-11	0,14	0,05	0,08

Fonte: Autora (2019).

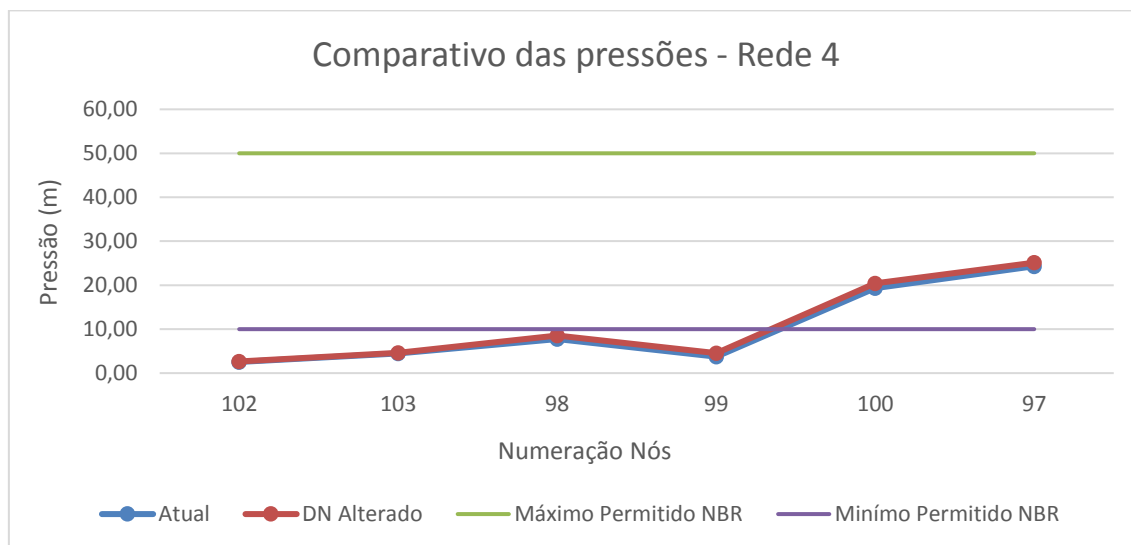
E para a simulação da Rede 4, assim como nas demais redes, não ocorreram alterações consideráveis de pressão, como relata a Tabela 39 e Gráfico 5.

Tabela 39 – Valores obtidos nos nós utilizando o EPANET na Rede 4 para a primeira alternativa

Identificador do Nó	Cota (m)	Consumo (L/S)	Carga Hidráulica (m)	Pressão (m)
Nó 102	94	0,02	96,65	2,65
Nó 103	92	0,03	96,65	4,65
RNV R4	95	1,42	96,65	1,65
Nó 98	88	0,01	96,56	8,56
Nó 99	92	0,02	96,56	4,56
Nó 100	76	0,15	96,43	20,43
Nó 97	71	0,30	96,12	25,12

Fonte: Autora (2019).

Gráfico 5 – Valores de pressão obtidos para os nós utilizando o EPANET na Rede 4 para a primeira alternativa



Fonte: Autora (2019).

Já os valores de perdas de cargas e velocidades, tal qual ocorreu nas outras redes, sofreram diminuições, como exemplifica a Tabela 40.

Tabela 40 – Valores obtidos nos trechos utilizando o EPANET na Rede 4 para a primeira alternativa

Identificador do Trecho	Vazão (L/S)	Velocidade (m/s)	Perda de Carga (m/km)
Tubulação 4-6	0,05	0,03	0,03
Tubulação 4-5	0,03	0,02	0,01
Tubulação 4-4	0,48	0,25	1,78
Tubulação 4-3	0,02	0,01	0,01
Tubulação 4-2	0,15	0,08	0,20
Tubulação 4-1	0,30	0,11	0,34

Fonte: Autora (2019).

Desta maneira, verificou-se que para as quatro redes analisadas, as velocidades não alcançaram o valor mínimo imposto pela normativa, mesmo com as alterações dos diâmetros, pois segundo Salvino (2009), em redes de distribuições com vazões nos trechos inferiores a 1,18 L/s, como ocorre neste caso, dificilmente consegue-se garantir velocidade mínima de 0,6 m/s, pelo fato de que a mesma norma impõe o diâmetro mínimo de 50 mm para as tubulações como forma de evitar perdas excessivas.

Sobre essa alternativa, aferiu-se que não ocorreu melhoramento dos quesitos de pressão e velocidade, que são imprescindíveis para a otimização desse sistema. Neste caso então, essa alternativa não seria uma solução para a adequação da rede de distribuição.

4.5.2 Segunda Alternativa para adequação da rede - Interligação

A segunda alternativa para aprimorar o sistema atual, propõe a interligação das redes de distribuição, servindo para avaliar caso houvesse problema no abastecimento de uma das redes e essa fosse a solução mais rápida para normalizar o abastecimento de água.

Contudo, ao efetuar a simulação no EPANET ocorreram alterações na forma de distribuição das redes, devido ao fato de que tal captação devido a suas características melhor abasteceria esses trechos. Neste caso, essa alternativa não seria uma solução para momentos de crises, mas sim pioraria os problemas, além de não resultar em aumentos significativos nas pressões e velocidades.

Para a segunda alternativa não foi realizada a análise de custos, devido essa proposta não resultar na otimização do sistema e agravar os problemas existentes.

4.5.3 Terceira Alternativa para adequação da rede – Válvulas redutoras de pressão e bombas

A terceira alternativa, visando potencializar o sistema, possui como proposta a instalação de bombas e válvulas redutoras de pressão, visando respectivamente elevar e reduzir as pressões em pontos críticos.

As válvulas redutoras de pressão são um dos equipamentos primordiais no controle e redução das pressões nos sistemas de abastecimento de água, onde automaticamente diminuem uma determinada pressão em montante para uma pressão em jusante estável, conforme valor pré-determinado. Para a Rede 1, que apresenta elevados valores de pressões, como mostra a Tabela 24, realizou-se a simulação de uma válvula de 2", como ilustra a Figura 27, no trecho Tubulação 1-26, pois a partir desse ponto as pressões nos nós variam de 45,82 a 60,68 mca. Nesse

caso, utilizou-se o parâmetro de controle de pressão para a válvula de 30,82 mca, determinado pelas análises dos valores encontrados nos trechos, levando-se em consideração a pressão pretendida após a válvula. No parâmetro de controle utilizado, realizou-se a diminuição de 15 mca da pressão de 45,82 mca encontrada no Nó 15, sendo esse valor estabelecido pelo fato de ser o mínimo que poderia ser diminuído, sem ocasionar valores inferiores a 10 mca, visto que no Nó 34 a pressão encontrada era de 31,09 mca.

Figura 26 – Exemplo de válvula redutora de pressão



Fonte: Autora (2019).

Os valores resultantes de pressão para os nós desta rede, após aplicação da alternativa, estão expostos na Tabela 41 e Gráfico 6, sendo possível comparar com a situação atual, juntamente com a de diâmetros alterados e verificar que houve a solução dos problemas de pressões elevadas nos pontos críticos.

Tabela 41 – Valores obtidos nos nós utilizando o EPANET na Rede 1 para a terceira alternativa

Identificador do Nó	Cota (m)	Consumo (L/S)	Carga Hidráulica (m)	Pressão (m)
Nó 3	71	0,01	83,63	12,63
Nó 4	63	0,02	83,61	20,61
Nó 5	75	0,02	83,57	8,57
Nó 6	50	0,07	83,56	33,56
Nó 7	49	0,00	83,55	34,55
Nó 8	69	0,04	83,50	14,50

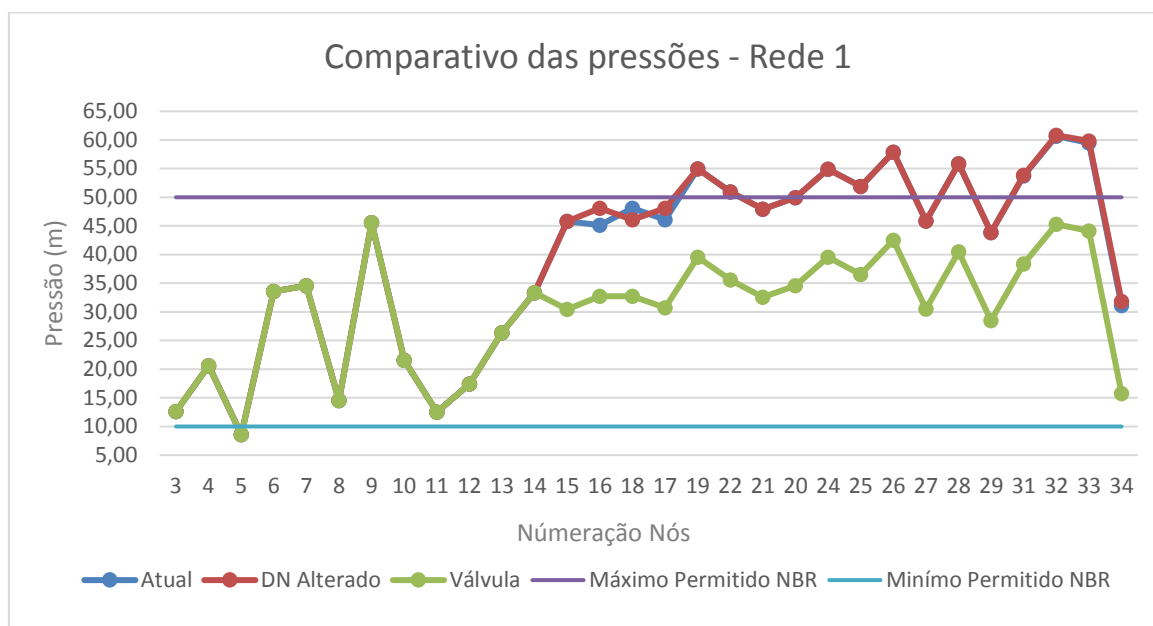
Continua

Conclusão

Identificador do Nó	Cota (m)	Consumo (L/S)	Carga Hidráulica (m)	Pressão (m)
Nó 9	38	0,01	83,56	45,56
Nó 10	62	0,02	83,55	21,55
Nó 11	71	0,01	83,53	12,53
Nó 12	66	0,01	83,45	17,45
Nó 13	57	0,01	83,36	26,36
Nó 106	57	0,00	83,19	26,19
Nó 107	37	0,00	67,82	30,82
Nó 14	50	0,04	83,33	33,33
Nó 15	37	0,08	67,45	30,45
Nó 16	34	0,07	66,75	32,75
Nó 18	34	0,00	66,72	32,72
Nó 17	36	0,03	66,72	30,72
Nó 19	27	0,03	66,57	39,57
Nó 22	31	0,00	66,56	35,56
Nó 21	34	0,01	66,56	32,56
Nó 20	32	0,02	66,56	34,56
Nó 24	27	0,00	66,56	39,56
Nó 25	30	0,01	66,55	36,55
Nó 26	24	0,02	66,51	42,51
Nó 27	36	0,02	66,48	30,48
Nó 28	26	0,01	66,5	40,5
Nó 29	38	0,02	66,48	28,48
Nó 31	28	0,03	66,38	38,38
Nó 32	21	0,01	66,31	45,31
Nó 33	22	0,01	66,15	44,15
Nó 34	50	0,05	65,72	15,72

Fonte: Autora, 2019.

Gráfico 6 – Valores de pressão obtidos para os nós utilizando o EPANET na Rede 1 para a terceira alternativa



No entanto, não foi resolvido o problema no Nó 5 que apresenta valor de pressão de 8,57 mca. Como nesse trecho, possui apenas um morador sendo abastecido, não seria vantajoso financeiramente instalar uma bomba pressurizada de elevada potência em todo este trecho. Como alternativa, poderia se instalar na residência deste morador uma bomba de pressurização de baixa potência, como o modelo BPR-9 1/6CV, exemplificado na Figura 28, devido ao seu preço reduzido.

Figura 27 – Bomba de pressurização modelo BPR-9 1/6CV



Fonte: <https://schneider.ind.br/produtos/sistemas-de-bombeamento/pressuriza%C3%A7%C3%A3o/bpr/>

Para a Rede 2, 3 e 4, que apresentam valores inferiores de pressão, foi proposto a instalação de bombas pressurizadoras, sendo realizado duas simulações para cada rede, como forma de verificar a solução mais correta e com melhor custo benefício.

Na primeira simulação para a Rede 2, sugeriu-se a instalação de uma bomba de pressurização em cada saída de rede do reservatório. Para isso, realizou-se análises das perdas de carga e alturas manométricas, estabelecendo o modelo de bomba BC-21 R 1 ¼ 1,5CV, ilustrada na Figura 29, para o trecho Tubulação 2-39 e o modelo SP-12C BC-98 1/2CV, ilustrada na Figura 30, para o trecho Tubulação 2-45, sendo encontrado os seguintes valores de pressão na rede, como ilustra a Tabela 42 e Gráficos 7 e 8.

Figura 28 – Bomba de pressurização modelo BC-21 R 1 ¼ 1,5CV



Fonte: <https://schneider.ind.br/produtos/motobombas-de-superf%C3%ADcie/large/centr%C3%ADfugas-monoest%C3%A1gio/bc-21/>

Figura 29 – Bomba de pressurização modelo SP-12 C



Fonte: <https://schneider.ind.br/produtos/sistemas-de-bombeamento/pressuriza%C3%A7%C3%A3o/sp/>

Tabela 42 – Valores obtidos nos nós utilizando o EPANET na Rede 2 para a terceira alternativa

Identificador do Nó	Cota (m)	Consumo (L/S)	Carga Hidráulica (m)	Pressão (m)
Nó 67	95	0,01	122,13	27,13
Nó 65	84	0,03	119,34	35,34
Nó 92	78	0,09	119,00	41,00
Nó 66	88	0,08	119,08	31,08
Nó 61	69	0,11	110,90	41,90
Nó 64	71	0,02	110,51	39,51
Nó 63	66	0,09	110,52	44,52
Nó 59	67	0,11	103,85	36,85
Nó 60	72	0,17	102,14	30,14
Nó 57	69	0,02	102,81	33,81
Nó 91	67	0,09	100,73	33,73
Nó 58	75	0,21	100,83	25,83
Nó 55	68	0,03	101,51	33,51
Nó 56	65	0,02	101,50	36,50
Nó 43	66	0,01	101,22	35,22
Nó 54	65	0,02	101,21	36,21
Nó 23	62	0,02	100,55	38,55
Nó 105	62	0,22	88,86	26,86
Nó 30	73	0,17	92,50	19,50
Nó 48	57	0,12	97,07	40,07

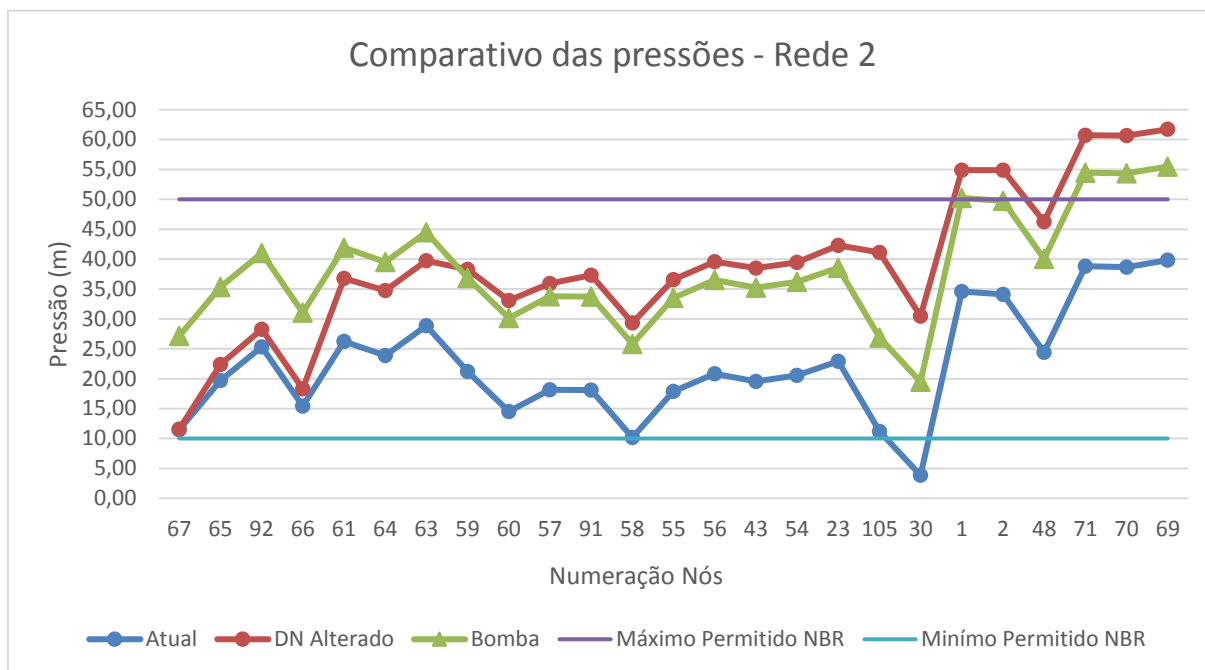
Continua

Conclusão

Identificador do Nó	Cota (m)	Consumo (L/S)	Carga Hidráulica (m)	Pressão (m)
Nó 71	42	0,03	96,48	54,48
Nó 70	42	0,07	96,33	54,33
Nó 69	41	0,01	96,49	55,49
Nó 53	62	0,07	96,49	34,49
Nó 52	51	0,07	96,49	45,49
Nó 51	39	0,11	96,52	57,52
Nó 50	37	0,02	96,70	59,70
Nó 49	44	0,11	96,74	52,74
Nó 46	57	0,05	96,79	39,79
Nó 47	56	0,03	96,73	40,73
Nó 42	56	0,02	96,7	40,7
Nó 45	55	0,11	94,84	39,84
Nó 44	66	0,08	96,35	30,35
Nó 40	62	0,04	96,62	34,62
Nó 68	51	0,10	93,87	42,87
Nó 41	74	0,06	95,00	21,00
Nó 38	60	0,02	96,62	36,62
Nó 39	74	0,06	96,58	22,58
Nó 36	59	0,01	96,62	37,62
Nó 37	66	0,02	96,61	30,61
Nó 35	66	0,04	96,61	30,61
Nó 72	95	0,01	121,94	26,94
Nó 73	82	0,03	121,81	39,81
Nó 101	48	0,23	115,14	67,14
Nó 74	93	0,24	116,48	23,48
Nó 75	77	0,05	121,79	44,79
Nó 76	83	0,04	121,79	38,79
Nó 77	86	0,04	121,79	35,79

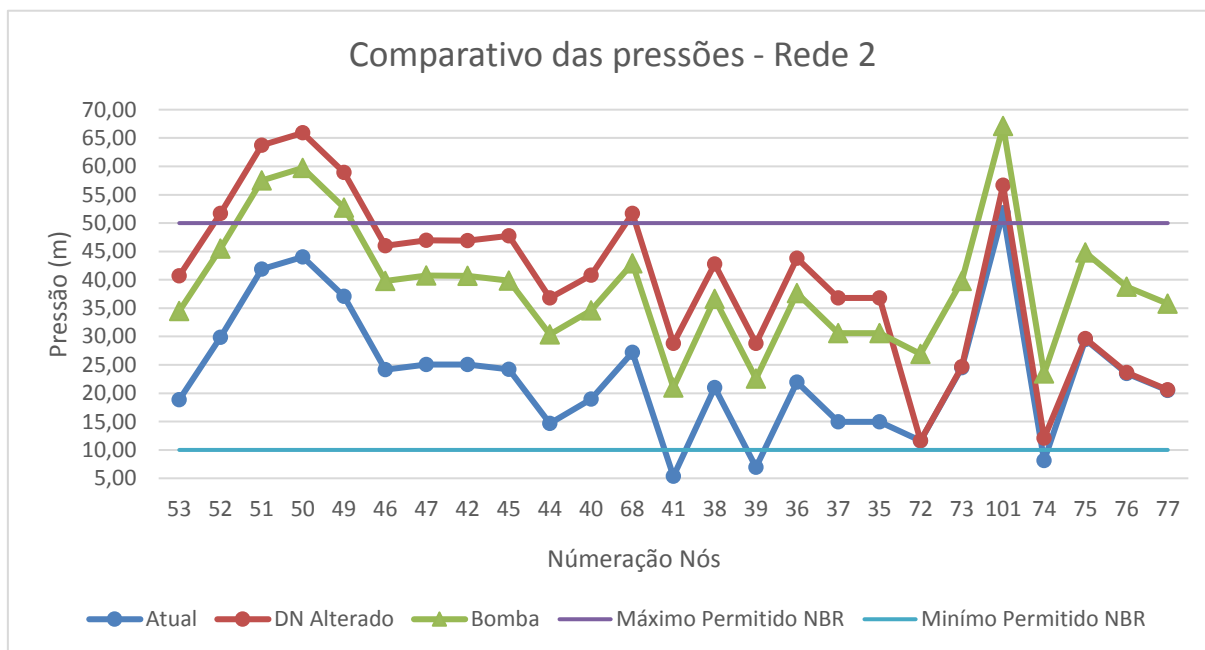
Fonte: Autora (2019).

Gráfico 7 – Valores de pressão obtidos para os nós utilizando o EPANET na Rede 2 para a terceira alternativa – parte 01



Fonte: Autora (2019).

Gráfico 8 –Valores de pressão obtidos para os nós utilizando o EPANET na Rede 2 para a terceira alternativa – parte 02



Fonte: Autora (2019).

Através do Gráficos 7 e 8, realizou-se a comparação com a situação atual e diâmetros alterados, verificando que houve a solução dos problemas de pressões inferiores com essa alternativa. E as curvas das bombas utilizadas, foram retiradas do catálogo do fornecedor Schneider Motobombas, estando expostas nas Tabelas 43 e 44.

Tabela 43 – Características hidráulicas para o sistema motor e bomba do modelo BC-21 R 1 ¼ 1,5CV

Modelo	Potência (CV)	Altura Manométrica Total (mca)			
		10	12	14	16
		Vazão em m³/h			
BC-21 R 1 ¼	1,5	18,20	16,00	13,30	9,90

Fonte: Adaptado de <https://schneidermotobombas.blob.core.windows.net/media/205249/lamina-bc-21.pdf>

Tabela 44 – Características hidráulicas para o sistema motor e bomba do modelo SP-12 C

Modelo	Potência (CV)	Altura Manométrica Total (mca)					
		3	4	6	8	12	18
		Vazão em m³/h					
SP-12 C	1/2	4,30	4,20	3,90	3,60	3,0	1,50

Fonte: Adaptado de https://schneidermotobombas.blob.core.windows.net/media/263985/l%C3%A2mina-sp_08-2019.pdf

No entanto, devido aos aumentos de pressões, observou-se que necessita-se da instalação de válvulas redutoras de pressão nos trechos Tubulação 2-43.1 e 2-23, possuindo como parâmetro de controle de pressão, respectivamente, 40,14 e 40,22 mca, sendo determinados pelas análises dos valores encontrados nos trechos, levando-se em consideração qual pressão queria se encontrar após a válvula, sem ocasionar valores inferiores a 10 mca, visto que no Nó 41 a pressão encontrada era de 21,00mca.

Para a Rede 3, na primeira simulação, sugeriu-se também a instalação de uma bomba de pressurização em cada saída de rede do reservatório e estabeleceu-se a instalação do modelo de bomba BC-98 1/3CV, ilustrada na Figura 31, para os trechos Tubulação 3-10 e 3-17, sendo encontrado os seguintes valores de pressão na rede, como ilustra a Tabela 45 e Gráfico 9.

Figura 30 – Bomba de pressurização modelo BC-98 1/3CV



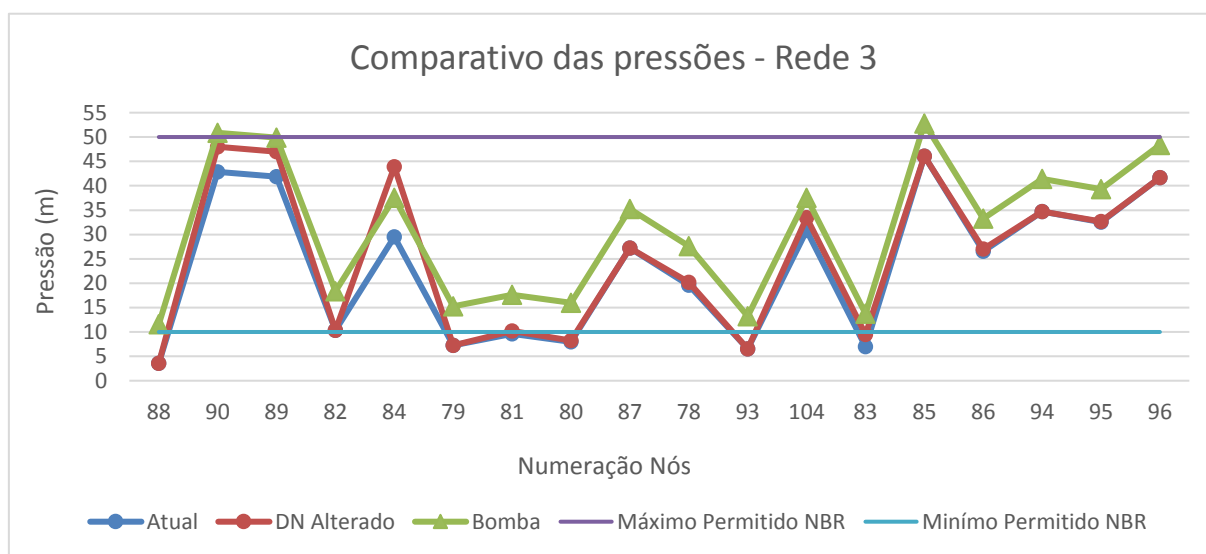
Fonte: <https://schneider.ind.br/produtos/motobombas-de-superf%C3%ADcie/light/centr%C3%ADfugas-monoest%C3%A1gio/bc-98/>

Tabela 45 – Valores obtidos nos nós utilizando o EPANET na Rede 3 para a terceira alternativa

Identificador do Nó	Cota (m)	Consumo (L/S)	Carga Hidráulica (m)	Pressão (m)
Nó 88	110	0,01	121,58	11,58
Nó 90	65	0,04	115,84	50,84
Nó 89	66	0,27	115,89	49,89
Nó 82	103	0,06	121,32	18,32
Nó 84	69	0,27	106,53	37,53
Nó 79	106	0,06	121,24	15,24
Nó 81	103	0,07	120,63	17,63
Nó 80	105	0,06	120,99	15,99
Nó 87	86	0,08	121,21	35,21
Nó 78	93	0,09	120,62	27,62
Nó 93	107	0,01	120,26	13,26
Nó 104	79	0,13	116,55	37,55
Nó 83	103	0,28	116,74	13,74
Nó 85	67	0,12	119,80	52,80
Nó 86	86	0,08	119,27	33,27
Nó 94	78	0,21	119,43	41,43
Nó 95	80	0,08	119,30	39,30
Nó 96	71	0,14	119,40	48,40

Fonte: Autora (2019).

Gráfico 9 – Valores de pressão obtidos para os nós utilizando o EPANET na Rede 3 para a terceira alternativa



Fonte: Autora (2019).

Através do Gráfico 9, realizou-se a comparação com a situação atual, diâmetros alterados e a proposta dessa simulação, verificando que também houve a solução dos problemas de pressões inferiores com essa alternativa. E a curva dessa bomba utilizada, foi retirada do catálogo do fornecedor Schneider Motobombas, estando exposta na Tabela 6.

Tabela 46 – Características hidráulicas para o sistema motor e bomba do modelo BC-98 1/3CV

Modelo	Potência (CV)	Altura Manométrica Total (mca)					
		2	5	9	12	14	17
		Vazão em m³/h					
BC-98	1/3	4,50	4,10	3,40	2,80	2,30	1,20

Fonte: Adaptado de <https://schneidermotobombas.blob.core.windows.net/media/203142/L%C3%A2mina-BC-98.pdf>

No entanto, devido aos aumentos de pressões, para esta rede também observou-se que necessita-se da instalação de válvulas redutoras de pressão nos trechos Tubulação 3-15 e 3-9, possuindo como parâmetro de controle de pressão, respectivamente, 42,80 e 35,84 mca, sendo determinados pelas análises dos valores encontrados nos trechos, levando-se em consideração qual pressão queria se encontrar após a válvula, sem ocasionar valores inferiores a 10 mca.

E na primeira simulação da Rede 4, novamente realizou-se a instalação de uma bomba de pressurização em cada saída de rede do reservatório, estabelecendo a bomba modelo TAP-20A CPW 1/2CV, ilustrada na Figura 32, para o trecho Tubulação 4-6 e modelo SP15C BCR-2010 3/4CV, ilustrada na Figura 33, para o trecho Tubulação 4-4, após análises das perdas de cargas e alturas manométricas, resultando nos valores de pressão, como exposto na Tabela 47 e Gráfico 10.

Figura 31 – Bomba de pressurização modelo TAP-20 A CPW 1/2CV



Fonte: <https://schneider.ind.br/produtos/sistemas-de-bombeamento/pressuriza%C3%A7%C3%A3o/tap/>

Figura 32– Bomba de pressurização modelo SP-15 C BCR-2010 3/4CV



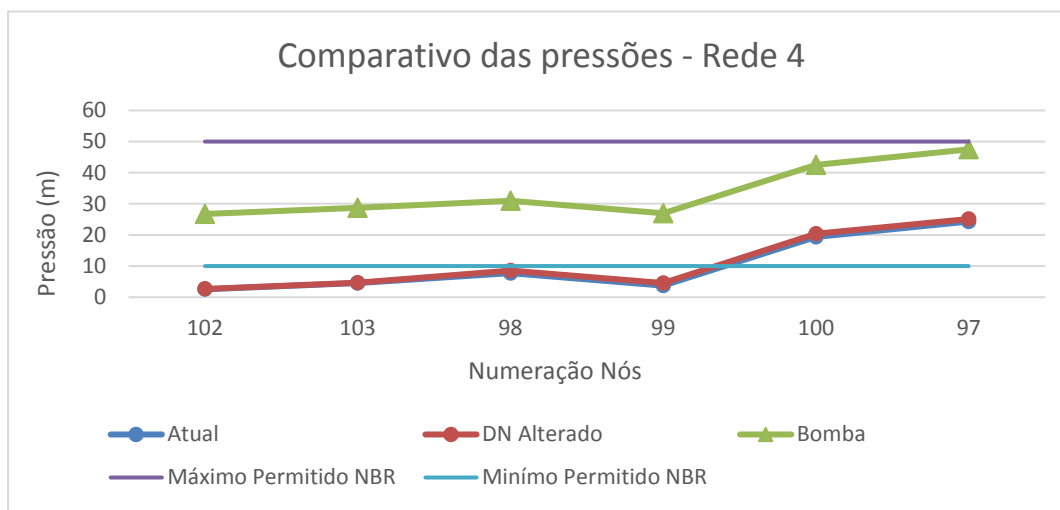
Fonte: <https://schneider.ind.br/produtos/sistemas-de-bombeamento/pressuriza%C3%A7%C3%A3o/sp/>

Tabela 47 – Valores obtidos nos nós utilizando o EPANET na Rede 4 para a terceira alternativa

Identificador do Nó	Cota (m)	Consumo (L/S)	Carga Hidráulica (m)	Pressão (m)
Nó 102	94	0,02	120,74	26,74
Nó 103	92	0,03	120,69	28,69
Nó 98	88	0,01	118,94	30,94
Nó 99	92	0,02	118,92	26,92
Nó 100	76	0,15	118,50	42,50
Nó 97	71	0,30	118,50	47,50

Fonte: Autora (2019).

Gráfico 10 – Valores de pressão obtidos para os nós utilizando o EPANET na Rede 4 para a terceira alternativa



Fonte: Autora (2019).

Através do Gráfico 10, realizou-se a comparação com a situação atual, e diâmetros alterados, verificando que como nas outras análises, também houve a solução dos problemas de pressões inferiores com essa alternativa. E a curva das bombas utilizadas, foram retiradas do catálogo do fornecedor Schneider Motobombas, estando expostas nas Tabelas 48 e 49.

Tabela 48 – Dados hidráulicos para o sistema motor e bomba do modelo TAP-20 A CPW 1/2CV

Modelo	Potência (CV)	Altura Manométrica Total (mca)					
		10	13	15	18	20	23
		Vazão em m³/h					
TAP-20 A	1/2	3,48	3,04	2,72	2,17	1,74	0,93

Fonte: Adaptado de <https://schneidermotobombas.blob.core.windows.net/media/204020/L%C3%A2mina-TAP.pdf>

Tabela 49 – Dados hidráulicos para o sistema motor e bomba do modelo SP-15 C BCR-2010 3/4CV

Modelo	Potência (CV)	Altura Manométrica Total (mca)					
		15	17	20	22	24	26
		Vazão em m³/h					
SP-15 C BCR-2010	3/4	3,80	3,40	2,70	2,20	1,60	0,80

Fonte: Adaptado de https://schneidermotobombas.blob.core.windows.net/media/263985/l%C3%A2mina-sp_08-2019.pdf

Na segunda simulação, para as quatro redes de distribuição, foi proposto o desligamento de um dos trechos, para que o reservatório ficasse com apenas uma saída de rede, sendo instalada apenas uma bomba de pressurização como forma de economia. Porém, essas simulações resultaram no aumento das pressões sem nenhum controle e a utilização de bombas com potência superior as da primeira simulação. Analisando-se as duas simulações para as redes, verifica-se que a primeira simulação mesmo possuindo maior custo financeiro, por se tratar da instalação de duas bombas, proporciona melhor controle das pressões, além de não ser preciso realizar desligamentos ou movimentação de tubulações.

Sobre essa alternativa, concluindo-se que dentre as três expostas, essa seria a mais correta e eficiente para a adequação do abastecimento desse sistema, visto que ocorreu a solução dos problemas de pressões, gerou a otimização do sistema de distribuição e é a mais compatível com a realidade social encontrada.

4.6 Análise dos custos das alternativas propostas

Os resultados sobre a análise de custo final das alternativas propostas, proporcionando a comparação entre elas, estão indicados nos itens que seguem.

4.6.1 Análise de custo da Primeira Alternativa para adequação da rede – Substituição tubulação

Na realização da análise de custo desta alternativa proposta, adotou-se como base para os preços a tabela sem desoneração do SINAPI de agosto de 2019, da Caixa Econômica Federal, sendo elaborado o custo por metro das tubulações e considerado para a escavação e reaterro de vala 1,00 metro de largura por 0,50

metros de profundidade, não incluindo as despesas referentes a acessórios e fornecimento dos tubos. Desse modo, analisou-se o custo para a substituição da extensão dos três diâmetros expostos, sendo o custo total de substituição para a tubulação de 50 mm ilustrado na Tabela 50.

Tabela 50 – Custo para substituição tubulação de 50 mm

DN	Código	Descrição	Unid.	Quant.	Valor Unit. R\$	Valor Total R\$
50	36375	TUBO PVC PBA JEI, CLASSE 15, DN 50 MM, PARA REDE DE ÁGUA (NBR 5647)	M	16.583	R\$ 15,65	R\$ 259.523,95
	97124	ASSENTAMENTO DE TUBO DE PVC PBA PARA REDE DE ÁGUA, DN 50 MM, JUNTA ELÁSTICA INTEGRADA	M	16.583	R\$ 0,81	R\$ 13.432,23
	90099	ESCAVAÇÃO MECANIZADA DE VALA COM PROF. ATÉ 1,5 M, COM RETROESCAVADEIRA, LARG. MENOR QUE 0,8 M	M³	8.291,5	R\$ 11,72	R\$ 97.176,38
	93378	REATERRO MECANIZADO DE VALA COM RETROESCAVADEIRA, LARGURA ATÉ 0,8 M, PROFUNDIDADE ATÉ 1,5 M	M³	8.291,5	R\$ 18,89	R\$ 156.626,44
TOTAL do conjunto R\$						R\$ 526.759,00

Fonte: Autora, 2019.

Já o custo total para a substituição da tubulação de 75 mm, está ilustrado na Tabela 51.

Tabela 51 – Custo para substituição tubulação de 75 mm

DN	Código	Descrição	Unid.	Quant.	Valor Unit. R\$	Valor Total R\$
75	36376	TUBO PVC PBA JEI, CLASSE 15, DN 75 MM, PARA REDE DE ÁGUA (NBR 5647)	M	965	R\$ 30,73	R\$ 29.654,45
	97125	ASSENTAMENTO DE TUBO DE PVC PBA PARA REDE DE ÁGUA, DN 75 MM, JUNTA ELÁSTICA INTEGRADA	M	965	R\$ 1,15	R\$ 1.109,75
	90099	ESCAVAÇÃO MECANIZADA DE VALA COM PROF. ATÉ 1,5 M, COM RETROESCAVADEIRA, LARG. MENOR QUE 0,8 M	M³	482,5	R\$ 11,72	R\$ 5.654,90
	93378	REATERRO MECANIZADO DE VALA COM RETROESCAVADEIRA, LARGURA ATÉ 0,8 M, PROFUNDIDADE ATÉ 1,5 M	M³	482,5	R\$ 18,89	R\$ 9.114,43
TOTAL do conjunto R\$						R\$ 45.533,53

Fonte: Autora, 2019.

E o custo total da substituição para a tubulação de 100 mm, encontra-se exposto na Tabela 52.

Tabela 52 – Custo para substituição tubulação de 100 mm

DN	Código	Descrição	Unid.	Quant.	Valor Unit. R\$	Valor Total R\$
100	36377	TUBO PVC PBA JEI, CLASSE 15, DN 100 MM, PARA REDE DE ÁGUA (NBR 5647)	M	1.120	R\$ 51,34	R\$ 57.500,80
	97126	ASSENTAMENTO DE TUBO DE PVC PBA PARA REDE DE ÁGUA, DN 100 MM, JUNTA ELÁSTICA INTEGRADA	M	1.120	R\$ 1,45	R\$ 1.624,00
	90099	ESCAVAÇÃO MECANIZADA DE VALA COM PROF. ATÉ 1,5 M, COM RETROESCAVADEIRA, LARG. MENOR QUE 0,8 M	M³	560	R\$ 11,72	R\$ 6.563,20
	93378	REATERRO MECANIZADO DE VALA COM RETROESCAVADEIRA, LARGURA ATÉ 0,8 M, PROFUNDIDADE ATÉ 1,5 M	M³	560	R\$ 18,89	R\$ 10.578,40
TOTAL do conjunto R\$						R\$ 76.266,40

Fonte: Autora, 2019.

Resultando no custo geral total para a substituição dos três diâmetros na rede de distribuição de R\$ 648.558,93.

4.6.2 Análise de custo da Terceira Alternativa para adequação da rede – Válvulas redutoras de pressão e bombas

Para a análise do custo dessa solução proposta para as redes de distribuição, realizou-se cotação com a empresa regional Valsul Válvulas do Sul Ltda, inscrita no CNPJ 91.146.134/0001-70, localizada no município de Porto Alegre, encontrando-se o valor para a válvula redutora de pressão 2" e para as bombas de pressurização, consultou-se a empresa Schneider Motobombas, integrante do grupo Franklin Electric Indústria de Motobombas S/A, inscrita no CNPJ 84.685.106/0012-19, localizada em Joinville, Santa Catarina, resultando num total de custo de R\$ 12.447,30 para essa alternativa, como ilustra a Tabela 53.

Tabela 53 – Custo total da terceira alternativa

Quantidade	Descrição	Valor Unit. R\$	Valor Unit. R\$
05	Válvula redutora de pressão	R\$ 809,58	R\$ 4.047,90
01	Bomba BPR-9 1/6CV	R\$ 564,40	R\$ 564,40
01	Bomba BC-21 R 1 1/4 1,5CV	R\$ 2.586,20	R\$ 2.586,20
01	Bomba SP-12C BC-98 1/2CV	R\$ 546,00	R\$ 546,00
02	Bomba BC-98 1/3CV	R\$ 478,00	R\$ 956,00
01	Bomba TAP-20A CPW 1/2CV	R\$ 2.474,80	R\$ 2.474,80
01	Bomba SP-15C BCR-2010 3/4CV	R\$ 1.272,00	R\$ 1.272,00
Total R\$			R\$ 12.447,30

Fonte: Autora (2019).

4.6.3 Resumo das Análise de custo das alternativas propostas

Conforme a avaliação das alternativas propostas, constatou-se que a terceira alternativa é a mais eficiente para resolver os problemas de pressão e abastecimento de água do sistema em estudo, pois foi a que apresentou a solução para esses quesitos, melhor desempenho hidráulico e menor investimento financeiro, se comparado com a primeira alternativa, que seria praticamente inviável para a realidade social encontrada e para o pouco retorno que essa ocasionaria, visto que não gerou a otimização do sistema e a segunda alternativa só agravaria os problemas já existentes. A comparação de custos entre a primeira e terceira alternativa, está ilustrada na Tabela 53.

Tabela 54 – Comparativo de custo das alternativas

Alternativa	Solução	Custo Total
01	Substituição das tubulações	R\$ 648.558,93
03	Instalação de válvulas redutoras de pressão e bombas pressurizadoras	R\$ 12.447,30

Fonte: Autora (2019).

No entanto, a terceira alternativa segundo as simulações e análises de custo, é a melhor solução técnica e econômica para a condição atual do sistema de abastecimento, devendo ser realizadas novas análises e estudos em caso de aumento da população, podendo deste modo, viabilizar uma das outras alternativas.

Os sistemas de abastecimento em zonas rurais apresentam diferentes características de consumo e volume gasto para desempenhar suas atividades, se comparados com o meio urbano, pois usualmente nesses casos trabalha-se com estimativas de consumo que não se diferem muito de cidade para outra, diferentemente das zonas rurais, que possui a escassez de estudos e dados sobre esse assunto, que acabam ocasionando incertezas no projeto desses sistemas. Essas diferenças de características influenciam no sistema a ser adotado, devido as modificações de horário e quantidade de água utilizada dependendo da atividade a ser realizada, dessa forma, é fundamental a realização de estudos sobre os hábitos da população como forma de evitar problemas de abastecimento, visto que utilizam a água para consumo próprio, juntamente com dessedentação animal, jardinagem e plantações. Devendo ser levado em consideração na introdução ou melhoria de um sistema, os aspectos sociais, econômicos e culturais da comunidade para que esse tenha sua capacidade garantida e bom funcionamento, como no caso deste estudo, onde o sistema apresenta regiões com problemas de pressões e abastecimento, possuindo grandes extensões e poucos pontos de consumos, sendo realizados estudos sobre suas características e realidade social para sua otimização. Esse assunto e estudo são extrema importância, visto que os sistemas de abastecimento são uma das soluções ocorrentes para o abastecimento de localidades isoladas e distantes, porém apresentam-se poucos trabalhos que avaliam essas situações.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em observância ao trabalho, conclui-se que o abastecimento de água é uma questão de saúde pública, que envolve vários aspectos do meio social, econômico e físico do indivíduo que podem gerar sequelas em todos esses seus meios, por essa razão, a importância de estudar e projetar todos os seus elementos constituintes, conforme as normativas, para que todos funcionem adequadamente, garantindo as melhores condições e proporcionando vazão e pressões adequadas.

A elaboração de sistemas de abastecimento de água em comunidades rurais é uma tarefa complicada, devido às características de consumo diversificadas, dificuldades na sua implementação, manutenção e vistoria causados pela sua localização e acessos, juntamente com a necessidade de realização de estudos sobre os hábitos dessa população e descaso de seus municípios não lhe garantem esse serviço básico, ocasionando a carência de informações e trabalhos focados nessa área, sendo esse assunto de extrema importância, visto que são uma das soluções ocorrentes para o abastecimento de localidades isoladas e distantes, perante a isso, a justificativa da realização deste trabalho.

Constatou-se, a importância da realização do estudo no local, para a obtenção de sua caracterização técnica, dados básicos para o dimensionamento e planejamento de ações para tornar o sistema eficiente, acabando com os problemas de abastecimento em pontos críticos da rede de distribuição.

Para este estudo, qualificou-se a condição do sistema atual, identificando as regiões que possuem problemas no abastecimento, efetuando simulações com a utilização do programa EPANET para diagnosticar as alternativas a serem aplicadas

para a melhoria da eficiência, objetivando aprimorar a operação do sistema. Desse modo, a metodologia apontada neste trabalho, representou uma importante ferramenta para as análises e tomadas de decisões sobre o sistema que encontra-se com deficiências de pressões e vazões nos pontos de consumo, de maneira que a alternativa escolhida assegure a garantia de sua implementação e menor custo de investimento.

Com o diagnóstico do sistema de abastecimento, verificou-se que a rede de distribuição é formada por quatro redes independentes, sendo elas nomeadas em Rede 1, 2, 3 e 4, obtendo-se informações sobre seus diâmetros, velocidades, perdas de carga, pressões e extensões de respectivamente, 6.517, 13.307, 5.673 e 2.304 metros, atestando que o sistema possui grandes extensões e poucos pontos de consumo. Também obteve-se dados sobre o qualitativo das águas dos mananciais subterrâneos, dos quatro poços artesianos, desde abril de 2017 a setembro de 2019, apresentando-se todos os parâmetros avaliados, dentro dos valores estipulados pela Portaria Consolidada do Ministério da Saúde nº 5, de 28 de setembro de 2017, só ocorrendo algumas alterações referente ao Cloro Residual Livre em alguns meses devido a problemas com o sistema de cloração. E informações sobre o sistema de captação e tratamento, juntamente com reservação, que na Rede 2 não encontra-se correta, não possuindo a capacidade de armazenamento adequada para garantir e atender as demandas da população em situações de emergências, reservas de incêndio e outras variações, sendo a solução desse problema a substituição dos dois reservatórios atuais de 20 metros cúbicos por novos de 35 metros cúbicos cada.

Quanto às propostas para a solução dos problemas na rede de abastecimento, a primeira alternativa visa a substituição das tubulações para os diâmetros corretos conforme determina a normativa, a segunda objetiva a interligação das redes e a terceira sugere a instalação de válvulas redutoras de pressão e bombas pressurizadoras, que após as simulações no EPANET, atestou-se que a terceira alternativa dentre as analisadas, demonstrou melhor desempenho, eficiência e otimização do sistema, ao resolver os problemas de pressões e abastecimento ocorridos, contribuindo para a operação adequada da rede, sendo a mais compatível com a realidade social encontrada, pois apresentou inferior investimento financeiro, se comparada com a primeira alternativa.

Referente a análise dos custos, utilizou-se como base de preços a tabela SINAPI e fornecedores da região. A primeira alternativa apresentou-se custo elevado de R\$ 648.558,93 para o pouco retorno que traria, já para a segunda alternativa não foi realizado essa análise por gerar maiores problemas e a terceira apresentou-se menos onerosa com o custo total de R\$ 12.447,30.

Com os resultados obtidos, comprovou-se que o programa EPANET apresenta-se muito eficiente, assegurando a agilidade nas simulações, sendo uma ferramenta de extrema importância e confiabilidade para o planejamento e diagnóstico de sistemas de distribuição de água, visto que apresenta uma interface simples que facilita a entrada de todos os dados necessários e disponibiliza relatórios com as principais informações.

Como recomendações e sugestões para trabalhos futuros, propõe-se o desenvolvimento de outras metodologias como simulações da qualidade da água no programa EPANET e o dimensionamento otimizado pelo LENHSNET para a realização de estudos mais completos, comparativos e econômicos.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil) (ANA). **A História do Uso da Água no Brasil Do Descobrimento ao Século XX**. 1. ed. São Paulo: Athalaia, 2007.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil) (ANA). **Enquadramento – Bases Conceituais**. Disponível em: <<http://pnqa.ana.gov.br/enquadramento-bases-conceituais.aspx>>. Acesso em: 20 abr. 2019.

ALVES, Célia. **Tratamento de Águas de Abastecimento**. 3 ed. rev e amp. Portugal: Publindústria, 2010.

ARRETCHE, M. **Política Nacional de Saneamento**: a reestruturação das Companhias estaduais. Brasília: Ipea, 1999. p.79-106.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12211 - Estudos de Concepção de Sistemas de Abastecimento de água**. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12214 - Projeto de Sistema de Bombeamento de Água para Abastecimento Público**. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12215 – Projeto de Adutora de Água para Abastecimento Público**. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12216 - Projeto de Estação de Tratamento de Água para Abastecimento Público**. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12217 – Projeto de Reservatório de Distribuição de Água para Abastecimento Público**. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12218 – Projeto de Rede de Distribuição de Água para Abastecimento Público**. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12218 – Projeto de Redes Coletoras de Esgoto Sanitário**. Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NB 594 – Elaboração de Projeto Hidráulico de Redes de Distribuição para Abastecimento Público**. Rio de Janeiro, 1977.

AMANCO. **Tubo DeFoFo**. Disponível em: <<http://amanco.com.br/produtos/infraestrutura/saneamento-agua/defofort/tubo-amanco-ductilfort>>. Acesso em: 25 abr. 2019.

AVILA, Edneia de Cassia Gava. **Estudo da variação de pressões de serviço em pontos da rede de abastecimento de água da cidade de Itatiba**. Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco, Itatiba, 2007.

BAIRD, C.; CANN, M. **Química Ambiental**. 4.ed. Porto Alegre: Bookman, 2011. 844p.

BAPTISTA, Márcio; LARA, Márcia. **Fundamentos de Engenharia Hidráulica**. 3. ed. rev e ampl. Belo Horizonte: UFMG, 2014.

BARSANO, Paulo Roberto; BARBOSA, Rildo Pereira; VIANA, Viviane Japiassú. **Poluição Ambiental e Saúde Pública**. 1. ed. São Paulo: Érica, 2014.

BEZZERA, S.T. M.; CHEUNG, P. B. **Perdas de água: tecnologias de controle**. João Pessoa: UFPB, 2013.

BITTENCOURT, Claudia; PAULA, Maria Aparecida Silva. **Tratamento de água e efluentes: fundamentos de saneamento e gestão de recursos hídricos**. 1 ed. São Paulo: Érica, 2014.

BRAGA, Benedito et al. **Introdução à Engenharia Ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável**. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

BRASIL, Lei n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm>. Acesso em: 23 mar. 2019.

BRASIL. Lei n. 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico, cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico, altera a Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979, a Lei nº 8.036, de 11 de maio de

1990, a Lei nº 8.666, de 21 de junho de 1993, e a Lei nº 8.987, de 13 de fevereiro de 1995, e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm>. Acesso em: 23 mar. 2019.

BRASIL, Lei n. 10.406, de 10 de janeiro de 2002. Institui o Código Civil. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/l10406.htm>. Acesso em: 7 mai. 2019.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 357: Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 25 mar 2019.

BRASIL. Ministério das Cidades. Guia para a elaboração de Planos Municipais de Saneamento. Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2011.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Saneamento**. 4. ed. Brasília: Funasa, 2015.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria de Consolidação nº5, de 28 de setembro de 2017**. Disponível em: <<http://portalarquivos2.saude.gov.br/images/pdf/2018/marco/29/PRC-5-Portaria-de-Consolida----o-n---5--de-28-de-setembro-de-2017.pdf>>. Acesso em: 23 mar. 2019

BRITTO, Ana Lúcia; QUINTSLR, Suyá. Redes técnicas de Abastecimento de água no Rio de Janeiro: história e dependência de trajetória. **Revista Brasileira de História & Ciências Sociais**, Santa Vitória dos Palmares, v. 9, n. 18, julho – dezembro de 2017.

BRUDEKI, Nelson Martins; BERNARDI, Jorge. **Gestão de Serviços Públicos Municipais**. Curitiba: Intersaberes, 2012.

CASALI, Carlos A. **Qualidade da água para consume humano ofertada em escolas e comunidades rurais da região central do Rio Grande do Sul**. 2008. 173 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2008.

COSTA apud LIMA, Byanca Porto de. **Melhoria contínua aplicada ao processo de abastecimento de água potável**. Cadernos UniFOA, Volta Redonda, n. 30, p. 23-35, abr., 2015.

COSTA, Edson Sene. **Alteração do ponto de alimentação da rede objetivando a redução de perdas: estudo de caso**. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014.

ESTRELA (Município). Prefeitura Municipal. **Manual de Saneamento**. Estrela/RS. 2012.

FABBRO, Antonio Dal. **Evolução recente do financiamento ao setor abastecimento de água no Brasil**. Tese (Doutorado) - Curso de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1984.

FEITOSA, Fernando A.C. et al. **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicação**. 3. ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, 2008.

FERREIRA, Antônio Domingos Dias. **Habitação Autossuficiente interligação e interação de sistema alternativos**. 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2014.

FERNANDES, André Luís Teixeira et al. **Métodos e projetos hidráulicos e de saneamento**. Uberaba: Universidade de Uberaba, 2013.

FERNANDES, Ângela Maria Ferreira. **Diagnóstico da Qualidade da Água Subterrânea em propriedade rural do município de Planalto, RS**. Monografia (Graduação) – Curso de Geologia, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2011.

FURUSAWA, Rubens Tadashi. **Contribuição ao dimensionamento de rede de distribuição por critério de custo global**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

GABRIEL, Dayana Karla de Souza. **Dimensionamento de uma rede de abastecimento de água de uma área delimitada do município de Japi-RS com a utilização do sistema UFC**. Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Paraíba, João Pessoa, 2018.

GARGEZ, Lucas Nogueira. **Elementos de engenharia hidráulica e sanitária**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1976.

GIAMPÁ, Carlos Eduardo; GONÇALES, Valter Galdiano. **Águas Subterrâneas e Poços Tubulares Profundos**. 1. ed. São Paulo: Signus, 2006.

GOMES, Heber Pimentel. **Sistemas de Abastecimento de Água: Dimensionamento Econômico e Operação de Redes e Elevatórias**. 3. ed. João Pessoa: Editora Universitária, 2009.

GOOGLE EARTH-MAPAS. Disponível em: <<http://www.mapas.google.com>>. Acesso em: 08 mai. 2019.

GUDINA, Natascha Barbosa; SILVA, Djair Felix. Restrições no abastecimento de água: atual situação de rede de distribuição em região de Maceió. **Cadernos de**

Graduação - Ciências exatas e tecnológicas, Alagoas, v. 4, n. 2, p. 173-186, nov. 2017.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. **Abastecimento de água para consumo humano**. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2010.

HOWE, Kerry J. et al. **Princípios de tratamento de água**. 1. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2016.

IBRAHIM, Francini Imene Dias et al. **Análise Ambiental: Gerenciamento de Resíduos e Tratamento de Efluentes**. 1. ed. São Paulo: Érica, 2015.

KEMERICH, P. D. C.; SILVA, J. L. S.; BARROS, G.; BORBA, W. F.; UCKER, F. E.; FOLETTO, C. V. **Caracterização química da água subterrânea em área ocupada por cemitério: uso da técnica de espectrometria de fluorescência de raios-X por energia dispersiva (EDXRF)**. *Ampli-Água*, Taubaté, v. 7, n. 3, p. 166-182, 2012.

KUNH, Márcio Roberto; ZART, Nathália; OLIVEIRA, Eniz Conceição. Avaliação físico-química e microbiológica da qualidade das águas dos poços artesianos que abastecem o distrito de Boa Vista, no município de Triunfo – RS. **Revista Destaques Acadêmicos**, Revista Destaques Acadêmicos, vol. 7, n. 4, 2015.

LIBÂNIO, Marcelo. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3. ed. rev. e ampl. São Paulo: Editora Átomo, 2010.

LOURENÇO, Darcy Hevenilton. **Avaliação de um sistema rural de abastecimento de água**. Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Tuiuti do Paraná, Curitiba, 2002.

MARTÍNEZ, Mónica M.; SILVA, José L. S. Avaliação da vulnerabilidade das águas subterrâneas no município de Santa Cruz do Sul, RS/BRASIL. **XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**. Mato Grosso: Cuiabá, 2009.

MARTINS, J.A. **Redes de distribuição de água**. Capítulo 13. In: Técnica de Abastecimento de Água. Vol. I. CETESB. São Paulo, 1976.

MATTHIENSEN, A. et al. **Diagnóstico dos poços tubulares profundos e da qualidade das águas subterrâneas no município de concórdia (SC)**. Águas Subterrâneas, 2015.

METCALF & EDDY. **Wastewater engineering: treatment and reuse**. 4th ed. Boston: McGraw-Hill, 2004.

MICHELAN, Natália. **Saneamento**. Uberaba: Universidade de Uberaba, 2016.

MICHELAN, Natália; FERREIRA, Cristiano Dorça. **Hidráulica**. Uberaba: Universidade de Uberaba, 2017.

NOLL, Ricardo; OLIVEIRA, Ivan L. **Fluoretação das águas de abastecimento público no âmbito da Corsan**. XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio Grande do Sul: Porto Alegre, 2000.

NETTO, J. M. A. **Cronologia do abastecimento de água (até 1970)** - Revista DAE, vol 44, n 137, pp 106-111, São Paulo, junho, 1984.

NETTO, J. M. A. et al. **Manual de Hidráulica**. 8. ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1998.

OKUN, D.A.; ERNST, W.R. **Community piped water supply systems in developing countries: a planning manual**. Washington The World Bank, 1987. 249p. World Bank Technical Paper number 60. 249 p.

PALUDO, Diego. **Qualidade da água nos poços artesianos do município de Santa Clara do Sul**. Monografia (Graduação) – Curso de Química Industrial, Universidade do Vale do Taquari, Lajeado, 2010.

PHILIPPI, Arlindo; GALVÃO, Alceu de Castro. **Gestão do saneamento básico: abastecimento de água e Esgotamento sanitário**. 1. ed. São Paulo: Manole, 2012.

PILOTTO, Isabel Rangel. **Características do consumo de água em uma propriedade rural: estudo de caso do município de Orleans/SC**. Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

PRADO, Marconi Lovisi. **Saneamento básico uma visão geral com ênfase nos elementos para construção, operação e manutenção dos sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário**. Monografia (Graduação) - Curso de Especialização em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

PUPPI, Ildelfonso C. **Estruturação Sanitária das Cidades**. Curitiba: UFPR; São Paulo: Cetesb, 1981.

PURPER, Marluce et al. Avaliação da qualidade das águas subterrâneas da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo, sistema Aquífero Guarani, RS, Brasil. **Revista Jovens Pesquisadores**, Santa Cruz do Sul, n. 1, p. 39 – 48, 2010.

RIBEIRO, Júlia Werneck; ROOKE, Juliana Maria. **Saneamento básico e sua relação com o meio ambiente e a saúde pública**. Monografia (Graduação) - Curso de Especialização em Análise Ambiental, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2010.

RICCILDONE, Diego. **Comparação de dimensionamento de redes de distribuição de água por modelos computacionais**. Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2016.

RICHTER, Carlos A.; NETTO, José M. de Azevedo. **Tratamento de água Tecnologia Aplicada**. São Paulo: Edgard Blücher, 2013.

RICHTER, Carlos A. **Água: métodos e tecnologia de tratamento**. 1. ed. São Paulo: Edgard Blücher. 2009. 352 p.

ROSEN, G. **Uma história da saúde pública**. 3. ed. São Paulo: Hucitec, 2006.

SALVINO, Moisés Menezes. **Método de dimensionamento e controle operacional otimizado para redes de distribuição de água**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal da Paraíba. Paraíba, 2009.

SANTOS, Ana Paula da Silveira. **Avaliação da qualidade de água de poços artesianos utilizados no abastecimento público do município de Carlos Gomes – RS, através de análises físico-químicas, microbiológicas e testes toxicológicos**. Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul. Erechim, 2017.

SOARES, Homero. Capítulo IV: Máquinas Hidráulicas. Disponível em: <http://www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2012/09/HGHTEO__Cap4_Aula-1_-10012013_V2.pdf>. Acesso em: 04 mai. 2019.

SOUZA, Walterler Alves. **Tratamento de Água**. Natal: CEFET/RS, 2007.

SILVA, Cleyton Oliveira. **Modelagem de rede de distribuição de água com ênfase no controle de perdas**. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba, Paraíba, 2014.

SILVA, Luciane Pimentel. **Hidrologia Engenharia e Meio Ambiente**. 1 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

SILVESTRE, Paschoal. **Hidráulica Geral**. Minas Gerais: Livros técnicos e científicos Editora S.A., 1979.

SCHMIDT, Elisabete I. **Estudo e qualidade das águas subterrâneas na região sudoeste do município de Estrela – RS**. 2006. 91 f. Monografia (Graduação) – Curso de Ciências Biológicas, Universidade do Vale do Taquari, Lajeado, 2006.

SCHNEIDER. **BC-98**. Disponível em: <<https://schneider.ind.br/produtos/motobombas-de-superf%C3%ADcie/light/centr%C3%ADfugas-monoest%C3%A1gio/bc-98/>>. Acesso em: 12 nov. 2019.

SCHNEIDER. **BC-21**. Disponível em: <<https://schneider.ind.br/produtos/motobombas-de-superf%C3%ADcie/large/centr%C3%ADfugas-monoest%C3%A1gio/bc-21/>>. Acesso em: 12 nov. 2019.

SCHNEIDER. **Lâmina BC-21**. Disponível em: <<https://schneidermotobombas.blob.core.windows.net/media/205249/lamina-bc-21.pdf>>. Acesso em: 12 nov. 2019.

SCHNEIDER. **Lâmina BC-98**. Disponível em: <<https://schneidermotobombas.blob.core.windows.net/media/203142/L%C3%A2mina-BC-98.pdf>>. Acesso em: 12 nov. 2019.

SCHNEIDER. **Lâmina SP**. Disponível em: <https://schneidermotobombas.blob.core.windows.net/media/263985/l%C3%A2mina-sp_08-2019.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2019.

SCHNEIDER. **SP**. Disponível em: <<https://schneider.ind.br/produtos/sistemas-de-bombeamento/pressuriza%C3%A7%C3%A3o/sp/>>. Acesso em: 12 nov. 2019.

SCHNEIDER. **TAP**. Disponível em: <<https://schneider.ind.br/produtos/sistemas-de-bombeamento/pressuriza%C3%A7%C3%A3o/tap/>>. Acesso em: 12 nov. 2019.

SHAMMAS, Nazih k.; WANG, Lawrence K. **Abastecimento de Água e Remoção de Resíduos**. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Editora UFMG, Belo Horizonte, 2005. 452p

STEVENS, Débora et al. Análises físico-químicas em quatro poços tubulares no município de Arroio do Meio – RS. **Revista Destaques Acadêmicos**, vol. 7, n. 3, 2015.

TELES, Elvilson Pires Sá. **Estudo de otimização do sistema de abastecimento de água de São Cristovão / OVO da EMA com o EPANET**. Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Feira de Santana, Bahia, 2008.

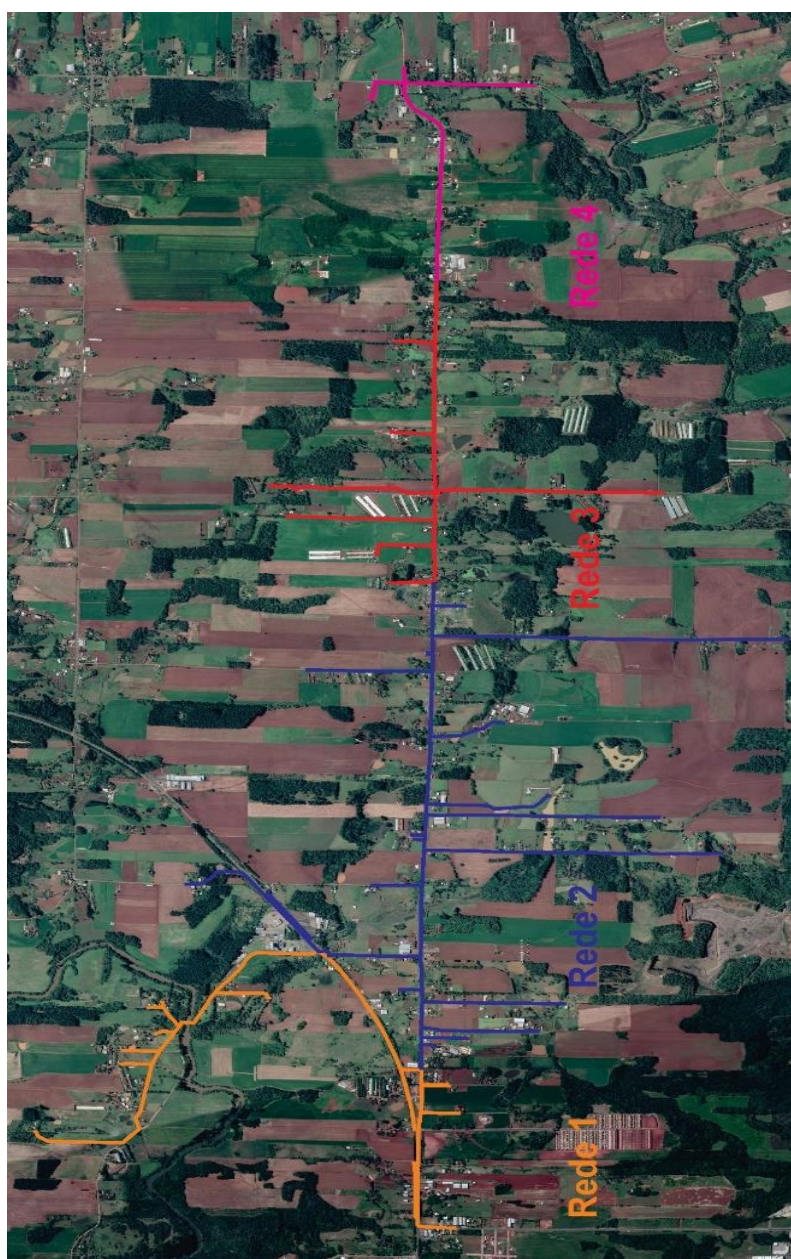
TSUTIYA, M. T. **Abastecimento De Água**. 3. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

VIANNA, Marcos Rocha. **Casas de Química para Estações de Tratamento de Água**. 2 ed. Belo Horizonte: Imprimatur Artes, 2001.

ZERWES, M. S. et al. Análise da qualidade água de poços artesianos do município Imigrante, Vale do Taquari/RS. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 37, n.4, p. 651- 663, 2015.

ZUMACH, Rosalene. **Enquadramento de curso de água: Rio Itajaí - Açu e seus principais afluentes em Blumenau**, Blumenau, SC, 2003. 133p. Dissertação (Mestrado em Eng. Ambiental). UFSC, Blumenau, SC. 2003.

ANEXO A – LOCALIZAÇÃO REDES DE DISTRIBUIÇÃO



ANEXO C – RESULTADO DIMENSIONAMENTO REDES DE DISTRIBUIÇÃO

PROJETO DE REDE DE ABASTECIMENTO DE AGUA										RUGOSIDADE		C = 130	C novo = 140						Pressão Disponível ATUAL (mca)		Pressão Disponível (mca)		
Trecho	Extensão (m)	Vazão (l/s)				Diâmetro ATUAL (mm)	Diâmetro (mm)	Velocidade ATUAL (m/s)	Velocidade (m/s)	Perda Carga Unitária ATUAL (m/km)	Perda Carga Unitária (m/m)	Cota Piezométrica Montante ATUAL (m)	Cota Piezométrica Montante (m)	Perda Carga ATUAL (mca)	Perda Carga (mca)	Cota Piezométrica Jusante ATUAL (m)	Cota Piezométrica Jusante (m)	Cota do Terreno (m)		Montante	Jusante	Montante	Jusante
		Qj Jusante	Qtr Marcha	Qm Montante	Ficícia (l/s)													Montante	Jusante				
						NOVA		NOVA				NOVA				NOVA						NOVA	NOVA
1-1 <	190	0,00	0,02	0,02	0,01	32	50	0,03	0,01	0,05	0,01	83,56	83,56	0,01	0,00	83,55	83,56	38,0	62,0	45,56	21,55	45,56	21,56
1-2 >	55	0,02	0,01	0,03	0,02	60	60	0,01	0,01	0,00	0,00	83,56	83,56	0,00	0,00	83,56	83,56	50,0	38,0	33,56	45,56	33,56	45,56
1-3 >	355	0,00	0,04	0,04	0,02	32	50	0,05	0,02	0,17	0,02	83,55	83,56	0,06	0,01	83,50	83,55	49,0	69,0	34,55	14,50	34,56	14,55
1-4 >	10	0,04	0,00	0,04	0,04	32	50	0,05	0,02	0,17	0,02	83,56	83,56	0,00	0,00	83,55	83,56	50,0	49,0	33,56	34,55	33,56	34,56
1-5 <	655	0,07	0,07	0,14	0,10	60	60	0,05	0,05	0,08	0,08	83,61	83,61	0,05	0,05	83,56	83,56	63,0	50,0	20,61	33,56	20,61	33,56
1-6 <	200	0,00	0,02	0,02	0,01	25	50	0,04	0,01	0,19	0,01	83,61	83,61	0,04	0,00	83,57	83,61	63,0	75,0	20,61	8,57	20,61	8,61
1-7 <	170	0,16	0,02	0,17	0,17	60	60	0,06	0,06	0,13	0,13	83,63	83,63	0,02	0,02	83,61	83,61	71,0	63,0	12,63	20,61	12,63	20,61
1-8 <	135	0,17	0,01	0,19	0,18	60	60	0,07	0,07	0,15	0,15	83,65	83,65	0,02	0,02	83,63	83,63	76,0	71,0	7,65	12,63	7,65	12,63

2-1 <	160	0,00	0,0428	0,04	0,02	60	60	0,02	0,02	0,01	0,01	80,97	102,81	0,00	0,00	80,96	102,81	59,0	66,0	21,97	14,96	43,81	36,81
2-2 <	70	0,00	0,0187	0,02	0,01	25	50	0,04	0,01	0,15	0,00	80,97	102,81	0,01	0,00	80,96	102,81	59,0	66,0	21,97	14,96	43,81	36,81
2-3 <	45	0,06	0,0120	0,07	0,07	60	60	0,03	0,03	0,03	0,03	80,97	102,81	0,00	0,00	80,97	102,81	60,0	59,0	20,97	21,97	42,81	43,81
2-4 <	240	0,00	0,0642	0,06	0,03	40	50	0,05	0,03	0,15	0,04	80,97	102,81	0,04	0,01	80,93	102,80	60,0	74,0	20,97	6,93	42,81	28,80
2-5 <	60	0,14	0,0160	0,15	0,15	60	60	0,05	0,05	0,10	0,10	80,97	102,82	0,01	0,01	80,97	102,81	62,0	60,0	18,97	20,97	40,82	42,81
2-6 <	220	0,10	0,0588	0,16	0,13	25	50	0,32	0,08	7,57	0,23	80,97	102,82	1,67	0,05	79,35	102,77	62,0	74,0	18,97	5,35	40,82	28,77
2-6.1 <	365	0,00	0,0976	0,10	0,05	25	50	0,20	0,05	3,16	0,09	79,35	102,79	1,16	0,03	78,22	102,73	74,0	51,0	5,35	27,22	28,79	51,73
2-7 <	160	0,31	0,0428	0,35	0,33	60	60	0,12	0,12	0,48	0,48	81,05	102,89	0,08	0,08	80,97	102,82	56,0	62,0	25,05	18,97	46,89	40,82
2-8 <	315	0,11	0,0843	0,19	0,15	40	50	0,15	0,10	1,13	0,33	81,05	102,89	0,36	0,10	80,70	102,79	56,0	66,0	25,05	14,70	46,89	36,79
2-9 <	405	0,00	0,1083	0,11	0,05	25	50	0,22	0,06	3,84	0,11	80,70	102,79	1,55	0,05	79,19	102,74	66,0	55,0	14,70	24,19	36,79	47,74
2-10 <	80	0,55	0,0214	0,57	0,56	60	60	0,20	0,20	1,15	1,15	81,14	102,98	0,09	0,09	81,05	102,89	57,0	56,0	24,14	25,05	45,98	46,89
2-11 <	125	0,00	0,0334	0,03	0,02	25	50	0,07	0,02	0,44	0,01	81,14	102,98	0,05	0,00	81,08	102,98	57,0	56,0	24,14	25,08	45,98	46,98
2-12 <	195	0,60	0,0522	0,65	0,63	60	60	0,23	0,23	1,50	1,50	81,42	103,27	0,29	0,29	81,14	102,98	57,0	57,0	24,42	24,14	46,27	45,98
2-13 <	405	0,37	0,1083	0,48	0,43	60	60	0,17	0,17	0,85	0,85	81,42	103,27	0,34	0,34	81,09	102,93	57,0	44,0	24,42	37,09	46,27	58,93
2-14 <	65	0,35	0,0174	0,37	0,36	60	60	0,13	0,13	0,53	0,53	81,09	102,93	0,03	0,03	81,05	102,90	44,0	37,0	37,09	44,05	58,93	65,90
2-15 <	395	0,25	0,1057	0,35	0,30	60	60	0,13	0,13	0,49	0,49	81,05	102,90	0,19	0,19	80,87	102,71	37,0	39,0	44,05	41,87	65,90	63,71
2-16 <	245	0,07	0,0655	0,14	0,11	60	60	0,05	0,05	0,09	0,09	80,87	102,71	0,02	0,02	80,84	102,69	39,0	51,0	41,87	29,84	63,71	51,69
2-17 <	280	0,00	0,0749	0,07	0,04	60	60	0,03	0,03	0,03	0,03	80,84	102,69	0,01	0,01	80,84	102,71	51,0	62,0	29,84	18,84	51,69	40,71
2-18 <	25	0,10	0,0067	0,11	0,11	32	50	0,14	0,06	1,16	0,12	80,87	102,71	0,03	0,00	80,84	102,71	39,0	41,0	41,87	39,84	63,71	61,71
2-19 >	102	0,00	0,0273	0,03	0,01	32	50	0,03	0,01	0,09	0,01	80,84	102,71	0,01	0,00	80,83	102,71	41,0	42,0	39,84	38,83	61,71	60,71
2-20 <	280	0,00	0,0749	0,07	0,04	32	50	0,09	0,04	0,58	0,06	80,84	102,71	0,16	0,02	80,68	102,69	41,0	42,0	39,84	38,68	61,71	60,69
2-21 <	440	1,13	0,1177	1,25	1,19	60	75	0,44	0,28	4,99	1,47	83,57	103,90	2,19	0,65	81,42	103,27	49,0	57,0	34,57	24,42	54,90	46,27
2-22 <	270	0,00	0,0722	0,07	0,04	25	50	0,15	0,04	1,81	0,05	83,57	103,90	0,49	0,01	83,09	103,88	49,0	49,0	34,57	34,09	54,90	54,88
2-23 <	225	1,32	0,0602	1,38	1,35	60	75	0,49	0,31	6,01	1,77	84,90	104,29	1,35	0,40	83,57	103,90	62,0	49,0	22,90	34,57	42,29	54,90
2-24 <	645	0,22	0,1725	0,40	0,31	32	50	0,49	0,20	12,75	1,27	84,90	104,29	8,23	0,82	76,85	103,49	62,0	73,0	22,90	3,85	42,29	30,49
2-24.1 <	840	0,00	0,2247	0,22	0,11	32	50	0,28	0,11	4,45	0,44	85,56	104,48	3,73	0,37	73,21	103,13	73,0	62,0	12,56	11,21	31,48	41,13
2-25 <	70	1,78	0,0187	1,80	1,79	60	75	0,64	0,41	9,77	2,87	85,57	104,48	0,68	0,20	84,90	104,29	66,0	62,0	19,57	22,90	38,48	42,29
2-26 <	70	0,00	0,0187	0,02	0,01	25	50	0,04	0,01	0,15	0,00	85,57	104,48	0,01	0,00	85,56	104,48	66,0	65,0	19,57	20,56	38,48	39,48
2-27 <	30	1,82	0,0080	1,83	1,82	60	75	0,65	0,41	10,04	2,95	85,86	104,57	0,30	0,09	85,57	104,48	68,0	66,0	17,86	19,57	36,57	38,48
2-28 <	80	0,00	0,0214	0,02	0,01	25	50	0,04	0,01	0,19	0,01	85,86	104,57	0,02	0,00	85,85	104,57	68,0	65,0	17,86	20,85	36,57	39,57
2-29 <	125	1,85	0,0334	1,88	1,86	60	75	0,67	0,43	10,61	3,12	87,16	104,95	1,33	0,39	85,86	104,57	69,0	68,0	18,16	17,86	35,95	36,57
2-30 <	780	0,09	0,2086	0,30	0,20	40	50	0,24	0,15	2,60	0,76	87,16	104,95	2,02	0,60	85,18	104,37	69,0	75,0	18,16	10,18	35,95	29,37
2-30.1 <	350	0,00	0,0936	0,09	0,05	40	50	0,07	0,05	0,30	0,09	85,18	105,09	0,10	0,03	85,08	104,34	75,0	67,0	10,18	18,08	30,09	37,34
2-31 <	75	2,18	0,0201	2,20	2,19	60	75	0,78	0,50	14,21	4,18	88,20	105,26	1,07	0,31	87,16	104,95	67,0	69,0	21,20	18,16	38,26	35,95
2-32 <	645	0,00	0,1725	0,17	0,09	32	50	0,21	0,09	2,73	0,27	88,20	105,26	1,76	0,17	86,49	105,09	67,0	72,0	21,20	14,49	38,26	33,09
2-33 <	405	2,38	0,1083	2,48	2,43	60	100	0,88	0,32	17,74	1,29	95,25	105,77	7,19	0,52	88,20	105,26	69,0	67,0	26,25	21,20	36,77	38,26
2-34 <	335	0,02	0,0896	0,11	0,06	32	50	0,13	0,06	1,15	0,11	95,25	105,77	0,39	0,04	94,87	105,73	69,0	66,0	26,25	28,87	36,77	39,73
2-35 <	70	0,00	0,0187	0,02	0,01	25	50	0,04	0,01	0,15	0,00	94,87	105,73	0,01	0,00	94,86	105,73	66,0	71,0	28,87	23,86	39,73	34,73
2-36 <	415	2,59	0,1110	2,70	2,65	60	100	0,96	0,34	20,75	1,50	103,69	106,38	8,61	0,62	95,25	105,77	84,0	69,0	19,69	26,25	22,38	36,77
2-37 <	310	0,09	0,0829	0,17	0,13	40	50	0,13	0,09	0,88	0,26	103,69	106,38	0,27	0,08	103,42	106,30	84,0	88,0	19,69	15,42	22,38	18,30
2-37.1 <	320	0,00	0,0856	0,09	0,04	40	50	0,07	0,04	0,25	0,07	103,42	106,58	0,08	0,02	103,35	106,28	88,0	78,0	15,42	25,35	18,58	28,28
2-38 <	120	2,87	0,0321	2,90	2,89	60	100	1,03	0,37	23,69	1,72	106,48	106,58	2,84	0,21	103,69	106,38	95,0	84,0	11,48	19,69	11,58	22,38
2-39 <	40	2,90	0,0107	2,91	2,91	85	100	0,51	0,37	4,37	1,73	106,65	106,65	0,17	0,07	106,48	106,58	93,0	95,0	13,65	11,48	13,65	11,58



UNIVATES

R. Avelino Talini, 171 | Bairro Universitário | Lajeado | RS | Brasil
CEP 95914.014 | Cx. Postal 155 | Fone: (51) 3714.7000